

Evolution de la ressource en eau souterraine passée, présente et future estimée par Aqui-FR

Rapport d'étape

Rapport d'étape

Florence Habets (Métis, UMR 7619),
Nadia Amraoui, Yvan Caballero, Dominique Thiéry,
et Jean-Pierre Vergnes (BRGM),
Thierry Morel (Cerfacs)
Patrick Le Moigne, Delphine Leroux, Nicolas Roux
(CNRM),
Quentin Courtois, Jean-Raynald de Dreuzy
(Géosciences Rennes),
Philippe Ackerer (Lhygès),
François Besson, Pierre Etchevers, Fabienne
Regimbeau, Béatrice Vincendon (Météo-France
DCSC),
Nicolas Gallois, Pascal Viennot (Mines-Paristech)

Juin 2018

Avec le soutien financier de

**AGENCE FRANÇAISE
POUR LA BIODIVERSITÉ**
ÉTABLISSEMENT PUBLIC DE L'ÉTAT



Une partie du travail est co-financé par la Convention Service Climatique

• AUTEURS

Philippe Ackerer, CNRS, (Lhygès), philippe.ackerer@unistra.fr
Nadia Amraoui, (BRGM), n.amraoui@brgm.fr
François Besson, (Météo-France), francois.besson@meteo.fr
Yvan Caballero, (BRGM), y.caballero@brgm.fr
Quentin Courtois, (Géosciences Rennes), quentin.courtois@univ-rennes1.fr
Jean-Raynald de Dreuzy, CNRS (Géosciences Rennes), jean-raynald.de-dreuzy@univ-rennes1.fr
Pierre Etchevers, (Météo-France), pierre.etchevers@meteo.fr
Nicolas Gallois, (Mines-Paristech), nicolas.gallois@mines-paristech.fr
Florence Habets, (UMR 7619 Métis), florence.habets@upmc.fr
Fadji Hassane, (Lhygès),
Patrick Le Moigne, (CNRM, Météo-France), patrick.lemoigne@meteo.fr
Delphine Leroux, (CNRM, Météo-France), delphine.leroux@meteo.fr
Thierry Morel, (Cerfacs), thierry.morel@cerfacs.fr
Fabienne Regimbeau, (Météo-France), fabienne.regimbeau@meteo.fr
Nicolas Roux, (CNRM), nicolas.roux@meteo.fr
Dominique Thiéry, (BRGM), d.thiery@brgm.fr
Jean-Pierre Vergnes, (BRGM), JP.Vergnes@brgm.fr
Pascal Viennot, (Mines-Paristech), pascal.viennot@mines-paristech.fr

• CONTRIBUTEURS

Julien Boé, CNRS, -(Cerfacs) Julien.Boe@cerfacs.fr
Audrey Gervereau, (Métis), audrey.gervereau@u-psud.fr
Mampionona Razanajatovo, (Métis), mampionona660@yahoo.fr
Béatrice Vincendon, (Météo-France), beatrice.vincendon@meteo.fr

CORRESPONDANTS : Agence française pour la biodiversité :

Claire Magand, chargée de mission de la ressource en eau , claire.magand@afbiodiversite.fr
Timothé Fleurent, chargé de mission de la ressource en eau , timothee.leurent@afbiodiversite.fr

Avec le soutien financier de

**AGENCE FRANÇAISE
POUR LA BIODIVERSITÉ**
ÉTABLISSEMENT PUBLIC DE L'ÉTAT



• **Evolution de la ressource en eau souterraine passée, présente et future estimée par Aqui- FR, HABETS ET AL.,**

• **RESUME**

Le projet Aqui-FR réunit 7 laboratoires français dans le but de développer une meilleure connaissance de la ressource en eau souterraine passée, présente et future, notamment via la mise en place d'un suivi temps réel et de prévision saisonnières des aquifères. Il se base pour cela essentiellement sur des modèles hydrogéologiques et des applications sur des bassins versants déjà existants et souvent utilisés par des gestionnaires de la ressource en eau.

La première phase du projet a permis de démontrer sa faisabilité ainsi que son intérêt. Dans cette seconde phase, les objectifs sont d'une part

- de réaliser une simulation sur une longue durée, afin de constituer une période de référence sur lesquelles les prévisions pourront être comparées. On s'appuie sur la période de disponibilité SAFRAN-SURFEX, ie, 1958 à nos jours. Cette simulation de référence est en cours d'évaluation.
- de réaliser un suivi en temps réel, ie, de fournir au jour le jour des estimations modélisées de la ressource en eau souterraine. La plateforme Aqui-FR a été adaptée à cet enjeu, et les derniers suivis sont présentés et comparés aux observations.
- de démontrer le potentiel et l'intérêt de prévision de la ressource en eau souterraine faite à partir de l'utilisation de prévisions saisonnières météorologiques. Une phase d'évaluation des prévisions saisonnières d'Aqui-FR forcée par les prévisions ARPEGE-Système 6 est en cours. Ces prévisions couvrent une période de 6 mois. En parallèle, des travaux préliminaires ont également été menés (via un stage master) pour tester le potentiel des techniques d'assimilation de données piézométriques observées, notamment pour améliorer l'estimation des états initiaux pour les prévisions.
- de réaliser des projections climatiques sur l'évolution future de la ressource en eau. Des premiers travaux sont menés en se basant sur des projections régionalisées de CMIP5.

Ce rapport d'étape résume donc l'avancement du projet sur ces différents aspects. Certains résultats ont déjà été présentés lors de conférences internationales et de séminaire, et des éléments sont disponibles sur le site web www.metis.upmc.fr/~aqui-fr.

- **MOTS CLES : MODELISATION HYDROGEOLOGIQUE, FRANCE, SUIVI TEMPS REEL, PREVISION, CHANGEMENT CLIMATIQUE, PRELEVEMENT, ESTIMATION DE LA RECHARGE, KARST, AQUIFERE DE SOCLE, AQUIFERE SEDIMENTAIRE**

Avec le soutien financier de

AGENCE FRANÇAISE
POUR LA BIODIVERSITÉ
ÉTABLISSEMENT PUBLIC DE L'ÉTAT



- **SOMMAIRE**

1. Introduction	5
2. Evolution de la plateforme Aquif-FR	6
3. Réanalyse longue durée 1958-2017	7
4. Suivi en temps réel	10
5. Prévisions saisonnières.....	12
6. Projections climatiques	14
7. Conclusion.....	16
8. Références et Valorisation	16

- **EVOLUTION DE LA RESSOURCE EN EAU SOUTERRAINE PASSEE, PRESENTE ET FUTURE ESTIMEE PAR AQUI-FR**

1. Introduction

Le projet AQUI-FR réunit 7 laboratoires français dans le but de développer une meilleure connaissance de la ressource en eau souterraine passée, présente et future, notamment via la mise en place d'un suivi temps réel et de prévision saisonnières des aquifères. Il se base pour cela essentiellement sur des modèles hydrogéologiques et des applications sur des bassins versants déjà existants et souvent utilisés par des gestionnaires de la ressource en eau.

La première phase du projet a permis de démontrer sa faisabilité ainsi que son intérêt. Une structure informatique permettant l'association de 3 modèles hydrogéologiques sur un total de 13 applications distribuées d'aquifères et de 23 applications sur des systèmes karstiques, couplés au schéma de surface SURFEX fournissant des flux d'eau à l'échelle nationale a été réalisée. Une phase de recalage des applications avec les flux SURFEX a été nécessaire, et une première évaluation pluri-annuelle a pu être réalisée (Habets et al., 2017). Le domaine simulé est présenté Figure 1.

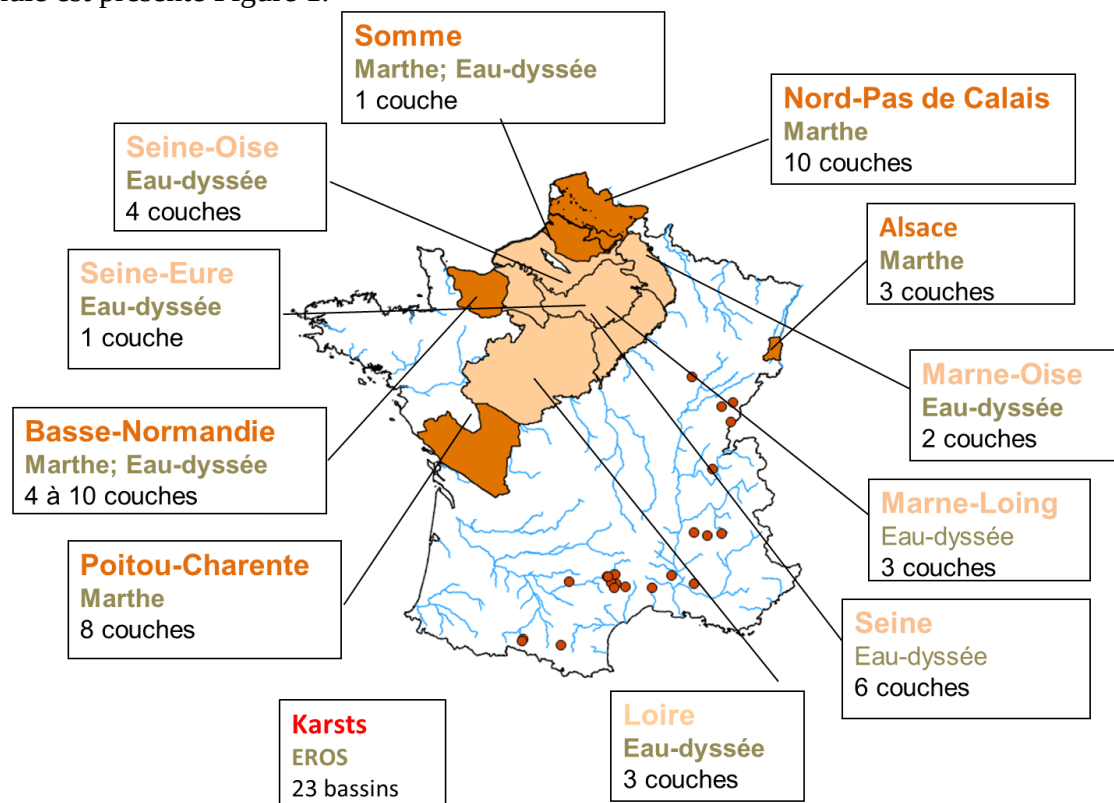


Figure 1 Extension du domaine simulé dans AQUI-FR et identification des applications

Ce rapport vise à présenter les avancées du projet dans cette seconde phase. Parmi les objectifs visés, le premier objectif consiste à réaliser une simulation sur une longue durée, afin de constituer une période de référence sur laquelle les prévisions pourront être comparées. On s'appuie sur la période de disponibilité de SAFRAN-SURFEX, ie, 1958 à nos jours. Cette réanalyse (ou simulation de référence) est en cours d'évaluation, bien que les

Avec le soutien financier de



données piézométriques observées soient peu disponibles avant 1970. Le deuxième objectif est de permettre un suivi en temps réel, ie de fournir au jour le jour des estimations modélisées de la ressource en eau souterraine. Ce travail permettra d'une part d'affiner le contrôle sur la qualité des simulations, de compléter la compréhension de la situation hydrogéologique par rapport au réseau d'observation, et de fournir des conditions initiales pour effectuer des prévisions d'évolution de la ressource en eau sur les territoires simulés. En effet, le troisième objectif du projet est de démontrer le potentiel et l'intérêt de prévision de la ressource en eau souterraine faite à partir des prévisions saisonnières météorologiques. Une phase d'évaluation des prévisions saisonnières d'Aqui-FR forcé par les prévisions ARPEGE-Système 6 est en cours. Ces prévisions couvrent une période de 6 mois. En parallèle, des travaux préliminaires ont également été menés (via un stage master) pour tester le potentiel des techniques d'assimilation de données, notamment pour améliorer l'estimation des états initiaux pour les prévisions. Le quatrième objectif est de réaliser des projections climatiques, en se basant sur des projections régionalisées de CMIP5. Des premiers développements sur ce point ont été réalisés. Pour finir, il convient de mentionner qu'un des points transversaux du projet concerne le développement d'outils de post-traitement. Les données et les outils de modélisation utilisés pouvant parfois générer des sorties de simulation volumineuses, il s'agit notamment de les valoriser correctement pour pouvoir transmettre des informations utiles aux gestionnaires et comparables sur l'ensemble du domaine de modélisation.

Ce rapport d'étape résume donc l'avancement du projet sur ces différents aspects. Certains résultats ont déjà été présentés lors de conférences internationales et de séminaires. Ils sont disponibles sur le site web du projet www.metis.upmc.fr/~aqui-fr.

2. Evolution de la plateforme Aquis-FR

Plusieurs développements ont été réalisés sur la plateforme avec pour principal objectif de permettre la réalisation de simulations de toutes durées et à tout moment, ce qui nécessite l'écriture et la lecture de fichiers initiaux/finaux adaptés, ainsi qu'une gestion adéquate des données de prélèvements. Ainsi, des modifications dans les codes MARTHE et Eau-dyssée ont été nécessaires pour s'assurer que l'ensemble des variables initiales (y compris le volume d'eau dans la zone non saturée) soit disponible. Une étape importante a également été l'intégration du modèle EROS à la place de GARDENIA, ce qui permet de traiter tous les systèmes karstiques (simulés avec une approche globale à réservoir, et donc, peu coûteuse en temps calcul) sur un seul processeur, ce qui allège très sensiblement la simulation (22 processeurs en moins), sans pour autant augmenter le temps calcul. Le temps calcul de l'ensemble de la plateforme a été également amélioré lors de la simplification de l'application Nord Pas de Calais qui a permis de limiter le nombre de mailles à un peu moins de 1 million au total.

L'ensemble des scripts permettant le lancement d'Aquis-FR ont été mis à jour pour intégrer les différentes possibilités de simulation : réanalyse longue durée (pluri-annuelle), temps réel (1 jour), prévisions saisonnières (un ensemble de 25 membres de durée 6 mois).

La structure du gestionnaire de version Git, accessible aux différents partenaires, a été revue, afin de faciliter les développements locaux et leur insertion dans la branche master.

Cette structure intègre l'ensemble du code et des scripts de lancement, ainsi que les scripts de post-traitement, en python, afin de faciliter le traitement des résultats par les partenaires.

D'autres modèles et applications vont bientôt intégrer la plateforme. Le modèle dédié aux aquifères de socle développé par Géosciences Rennes se base sur un écoulement en versant, et

Avec le soutien financier de

**AGENCE FRANÇAISE
POUR LA BIODIVERSITÉ**
ÉTABLISSEMENT PUBLIC DE L'ÉTAT



comporte à ce stade un unique paramètre lié à la forme de la zone altérée sur les versants. Son intégration est prévue début 2019. Le programme est écrit en python 3, ce qui demande quelques ajustements, notamment pour passer de python2 à python3 utilisé pour le post-processing mais aussi dans le coupleur Open-Palm.

Deux applications MARTHE vont également être intégrées sur les nappes alluviales de la Garonne, et ont nécessité de développer dans MARTHE une estimation des débits amont qui entrent dans les modèles. Cette version doit être intégrée prochainement.

3. Réanalyse longue durée 1958-2017

Une réanalyse longue durée a été réalisée avec Aquif-FR en faisant quelques hypothèses sur l'évolution temporelle des prélèvements en nappe et en rivière. En effet, à ce jour, environ 16000 points de prélèvement en nappe sont inclus dans Aquif-FR, pour un volume de 2.4 Milliards de m³/an (76m³/s). Cependant, ces prélèvements sont connus sur une période assez courte (de l'ordre de 10 ans). On suppose donc que les prélèvements sont constants dans le temps pour étendre la période de simulation. L'impact de cette hypothèse avait été quantifiée lors d'un stage master par Carluer Candillon (2016). L'évaluation est réalisée sur 580 piézomètres et plus de 500 stations de débits. La Figure 2 présente la carte de l'erreur quadratique moyenne (RMSE) de la simulation. Cette erreur est inférieure à 3m sur 41% des piézomètres et sont comparables aux résultats de la littérature scientifique. Les écarts sont plus importants ponctuellement sur l'application Nord Pas de Calais, ainsi que sur l'application Eau-dyssée Loire qui n'a pas encore été recalée avec les flux SURFEX.

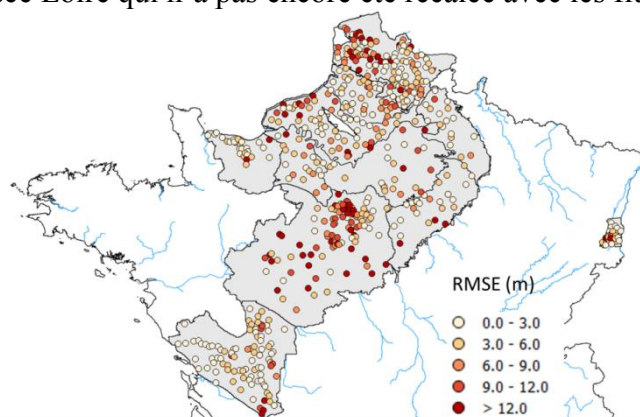


Figure 2 Carte de l'erreur quadratique moyenne (RMSE, exprimée en m) entre observations et simulations aux piézomètres sur l'ensemble de la période de disponibilité commune entre observations et modèles

Afin de comparer les résultats aux informations transmises dans le cadre du bulletin de situation hydrologique (BSH), et de façon cohérente avec les indices calculés pour les précipitations et l'humidité du sol, nous calculons l'évolution de l'indice piézométrique standardisé (SPLI ou IPS, Seguin, 2014). Cet indice consiste à estimer d'abord la distribution cumulée des fréquences ajustée des niveaux moyens des mois, et ensuite à la projeter sur une loi normale centrée réduite. Cela permet ensuite d'évaluer la situation du mois considéré par rapport à la fréquence d'occurrence. Un niveau très bas est considéré quand la fréquence d'occurrence est de l'ordre d'une période de retour de 10 ans sec. La Figure 3 présente l'évolution temporelle de cet indice entre 1958 et Avril 2018, au pas de temps mensuel et en

Avec le soutien financier de

**AGENCE FRANÇAISE
POUR LA BIODIVERSITÉ**
ÉTABLISSEMENT PUBLIC DE L'ÉTAT



moyenne sur l'ensemble des mailles affleurantes du domaine Aquif-FR. De fortes variabilités pluri-annuelles sont nettement visibles, avec des variations parfois très rapides.

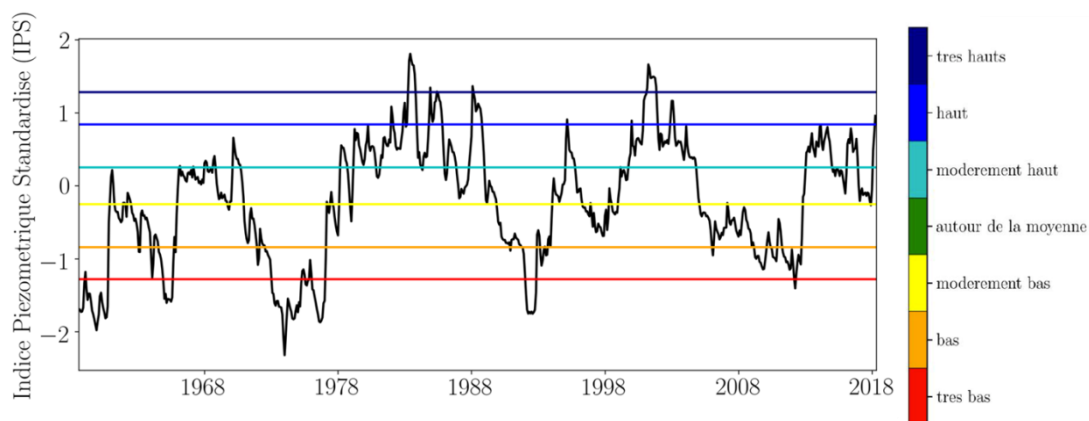


Figure 3 Evolution temporelle de l'indice piézométrique standardisé au pas de temps mensuel et en moyenne sur les couches affleurantes d'Aqui-FR

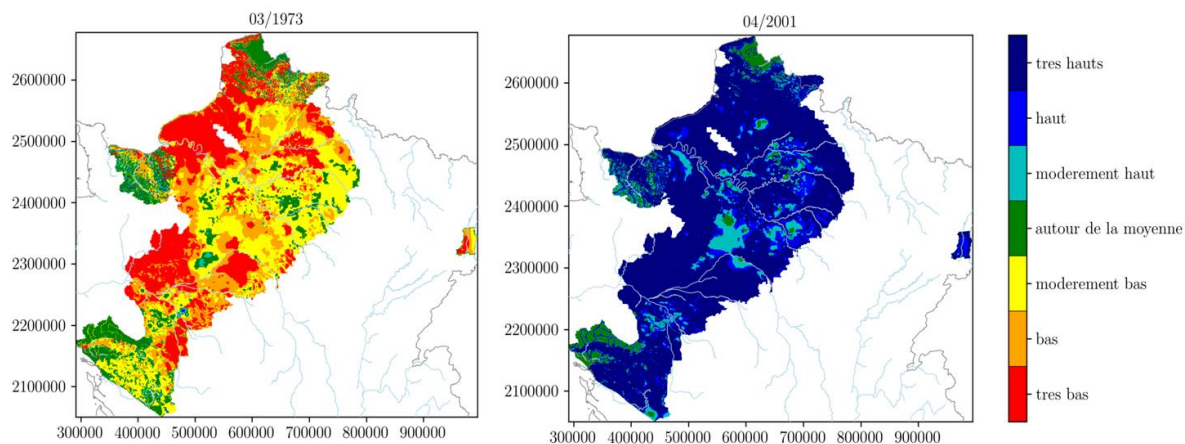


Figure 4 Cartes de l'indice piézométrique standardisé pour les mois le plus sec (Mars 1973) et le plus humide (Avril 2001)

Un intérêt de cet indice piézométrique standardisé (SPLI) est qu'il facilite la comparaison spatiale de l'état des nappes, puisque la valeur en chaque point est associée à une fréquence d'occurrence. La Figure 4 montre que la situation la plus sèche simulée est atteinte en Mars 1973. Elle est caractérisée par de larges zones ayant un niveau de nappes allant de très bas jusqu'à modérément bas, avec cependant des niveaux autour de la moyenne en Poitou Charente, Basse Normandie et Nord Pas de Calais. La situation la plus humide est atteinte en Avril 2001. L'essentiel du domaine modélisé se situe à un niveau qualifié de très haut, seules de petites zones restant à un niveau situé autour de la moyenne.

Avec le soutien financier de

**AGENCE FRANÇAISE
POUR LA BIODIVERSITÉ**
ÉTABLISSEMENT PUBLIC DE L'ÉTAT



Cet indice est maintenant calculé au niveau des piézomètres utilisés pour le bulletin de situation hydrologique. Une première évaluation de la qualité de reproduction de cet indice par Aquif-FR a donc été réalisée, en comparant la dynamique de l'indice SPLI simulé et observé à chaque indicateur piézométrique, via l'estimation du critère de Nash (très utilisé pour qualifier les débits). La Figure 5 montre que les résultats sont plutôt bons, 84% des piézomètres ayant un Nash positif et 47% un Nash supérieur à 0.5. Cette première évaluation doit cependant être affinée pour s'assurer que la période de référence utilisée dans le calcul de l'indice soit bien la même entre observations et modèles.

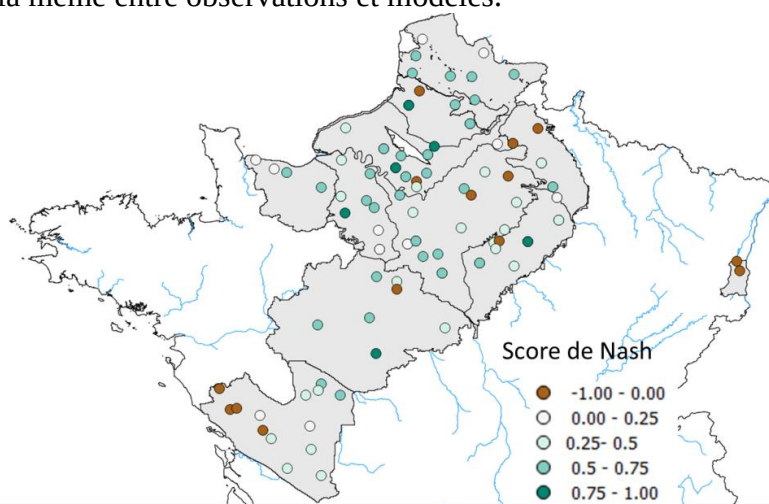


Figure 5 Score de Nash sur la comparaison de l'indice piézométrique standardisé au niveau des piézomètres indicateurs.

La modélisation permet d'accéder à des variables qui ne sont pas mesurées comme par exemple la recharge des aquifères et la contribution des nappes aux débits des cours d'eau. Ainsi, la Figure 6 montre que sur le domaine Aquif-FR la recharge varie d'une année sur l'autre de 5 à 40 Milliard de m³/an (alors que les prélèvements sont de 2.4 Milliard de m³/an). Pour une même valeur de recharge, les échanges nappe-rivière peuvent varier de plus de 60%, en lien avec l'état des nappes caractérisé ici par l'indice piézométrique standardisé.

Avec le soutien financier de

**AGENCE FRANÇAISE
POUR LA BIODIVERSITÉ**
ÉTABLISSEMENT PUBLIC DE L'ÉTAT

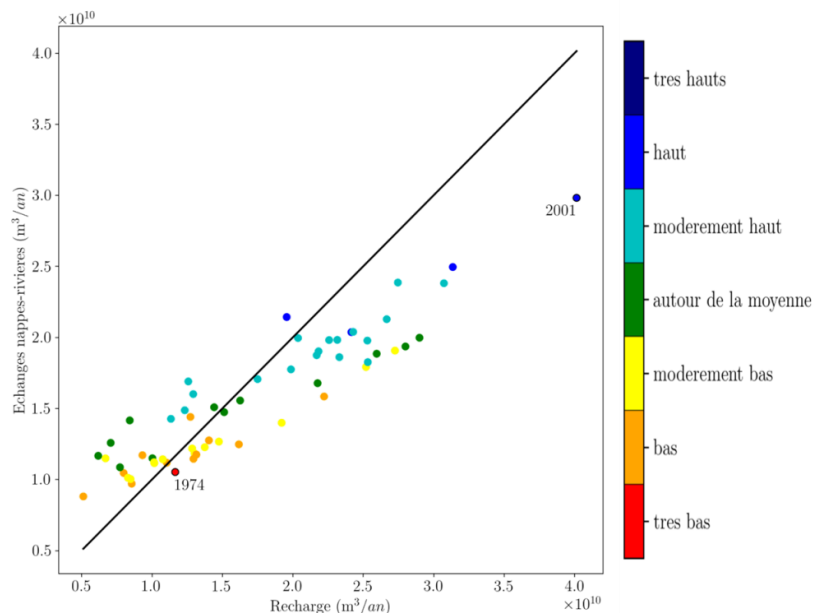


Figure 6 Analyse de la répartition annuelle des échanges nappe-rivière en fonction de la recharge (en dizaine de Milliard de m³/an) en fonction de l'indice SPLI, calculés sur la période 1958-2017.

L'analyse de la simulation longue durée va se poursuivre, dans le but de valoriser ces résultats par un article scientifique et de rendre un rapport sur cette partie comme prévu dans la convention.

4. Suivi en temps réel

Un des enjeux du projet est de permettre un suivi en temps réel de la ressource en eau souterraine avec Aqui-FR. Comme indiqué précédemment, les évolutions du code nécessaires pour y parvenir ont été réalisées. Ainsi, cette application temps réel est alimentée par la chaîne SAFRAN-SURFEX, opérée à Météo-France par l'équipe Analyse et Veille Hydrologique (AVH) de la Direction Centrale des Services Climatiques (DCSC) de Météo-France. De façon cohérente, c'est cette équipe qui va prendre en main la chaîne Aqui-FR temps réel. L'ensemble des codes ont donc été transférés à AVH, ce qui a nécessité quelques adaptations. Suivant la procédure classique pour une mise en opérationnel, la chaîne temps réel devrait donc d'abord pouvoir tourner rapidement en mode « non-surveillée » ce qui ne permet pas de réagir immédiatement en cas de problèmes techniques, mais nous permettra justement d'identifier de potentiels problèmes liés à l'approvisionnement en données, et devrait également permettre de disposer des informations en temps réel.

Afin d'illustrer le type de résultats attendus, la Figure 7 présente une comparaison de l'indice SPLI observé et simulé en Aout 2016 et la Figure 8 présente l'évolution de l'indice SPLI entre fin décembre 2017 et fin avril 2018. On constate ainsi une forte montée des niveaux des nappes pendant cette période, et une assez bonne cohérence entre observations et suivi temps réel.

Avec le soutien financier de

**AGENCE FRANÇAISE
POUR LA BIODIVERSITÉ**
ÉTABLISSEMENT PUBLIC DE L'ÉTAT

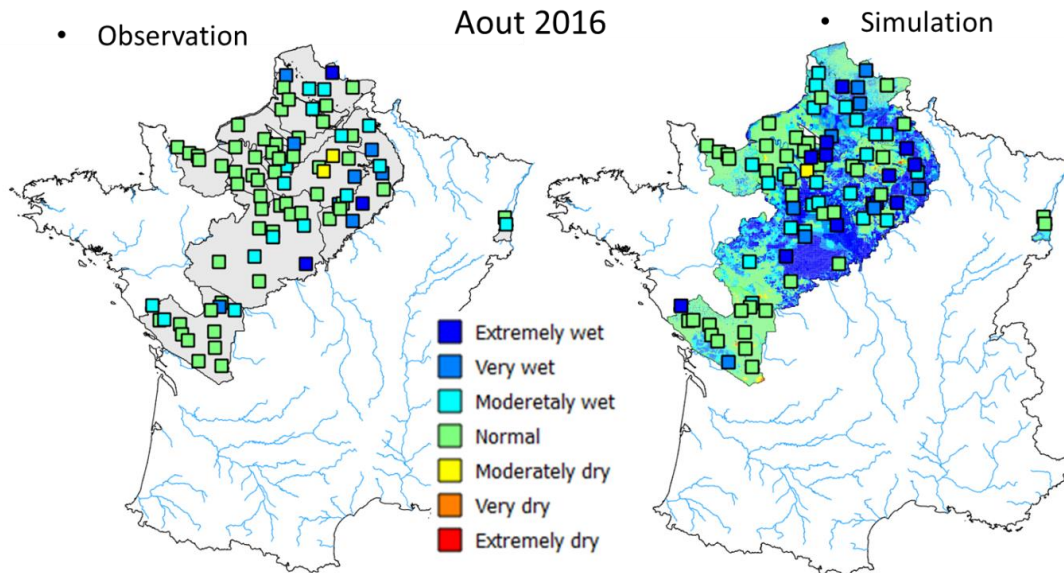


Figure 7 Comparaison entre les indices standardisés observés aux niveaux des piézomètres indicateurs utilisés dans le BSH (gauche) et simulé (droite) en Aout 2016.

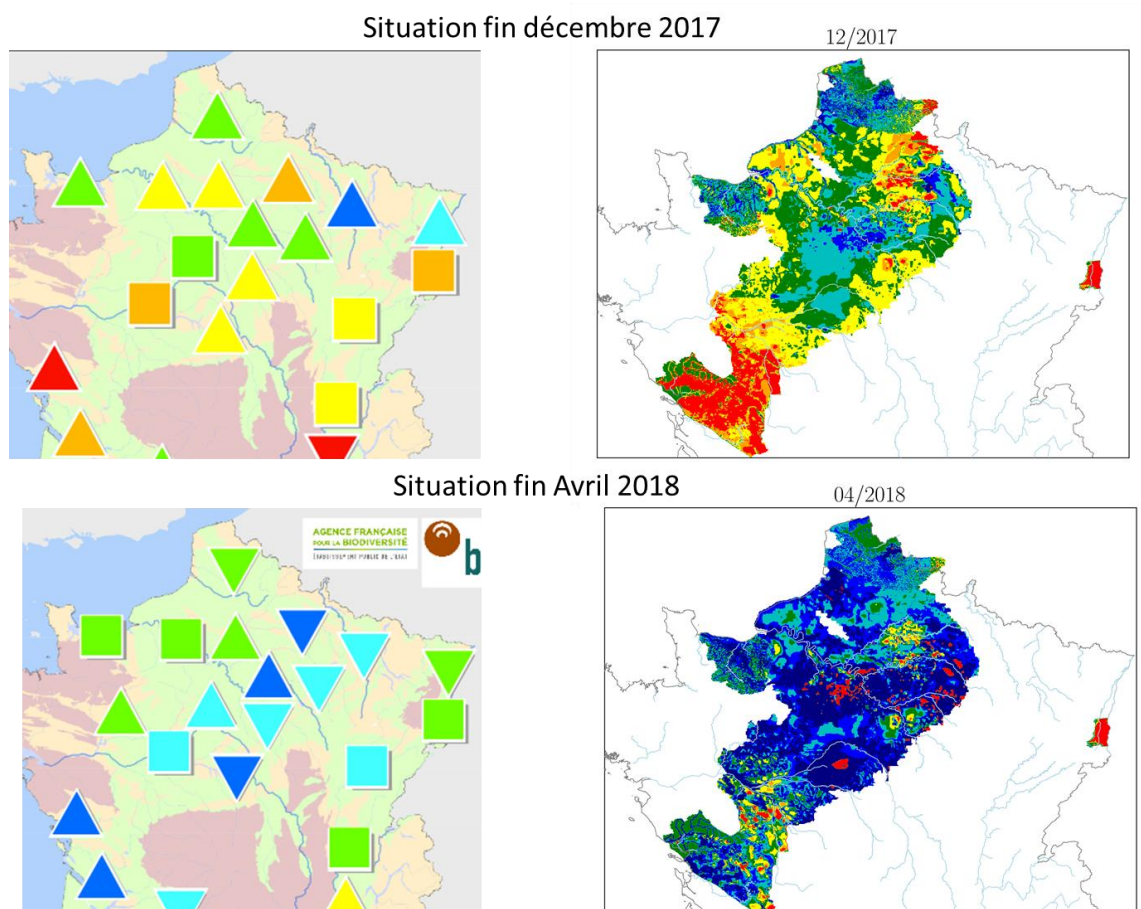


Figure 8 Comparaison des indices piézométriques standardisés issus du bulletin de situation hydrologique (BSH) à gauche et du suivi temps réel Aqui-FR à droite, pour la fin décembre 2017 en haut et la fin Avril 2018 en bas.

5. Prévisions saisonnières

Grâce à notre participation à la convention service climatique (<https://convention-services-climatiques.lsce.ipsl.fr>), nous avons pu obtenir un financement pour le post-doc de Delphine Leroux qui peut donc travailler à 100% sur les prévisions saisonnières des nappes. Les travaux ont ainsi débuté en Janvier 2018. Il s'agit tout d'abord de qualifier le potentiel de ces prévisions saisonnières. Pour ce faire, on se place dans le passé, avec une situation de « rejeu ». On utilise les prévisions saisonnières météorologiques issues d'ARPEGE. Des premiers travaux ont été menés avec ARPEGE System 5, mais, il a rapidement été possible de basculer sur la dernière version ARPEGE System6, pour bénéficier notamment d'un plus grand nombre de membres (25 au lieu de 15).

On dispose ainsi d'un rejeu sur la période 1993-2016 de prévisions à 6 mois d'échéance comprenant chacune 25 membres. Pour l'instant, seules les prévisions commençant au mois de Mai et couvrant de ce fait tout l'été jusqu'à fin Octobre ont été analysées. Ces prévisions sont initialisées à partir des états initiaux préparés précédemment (cf. section 2).

La prévision saisonnière des nappes est un domaine de recherche récent qui nécessite une période de prise en main, à la fois pour déterminer les variables clés à étudier, et pour qualifier les prévisions. Une illustration du type de résultats produit est présentée Figure 9

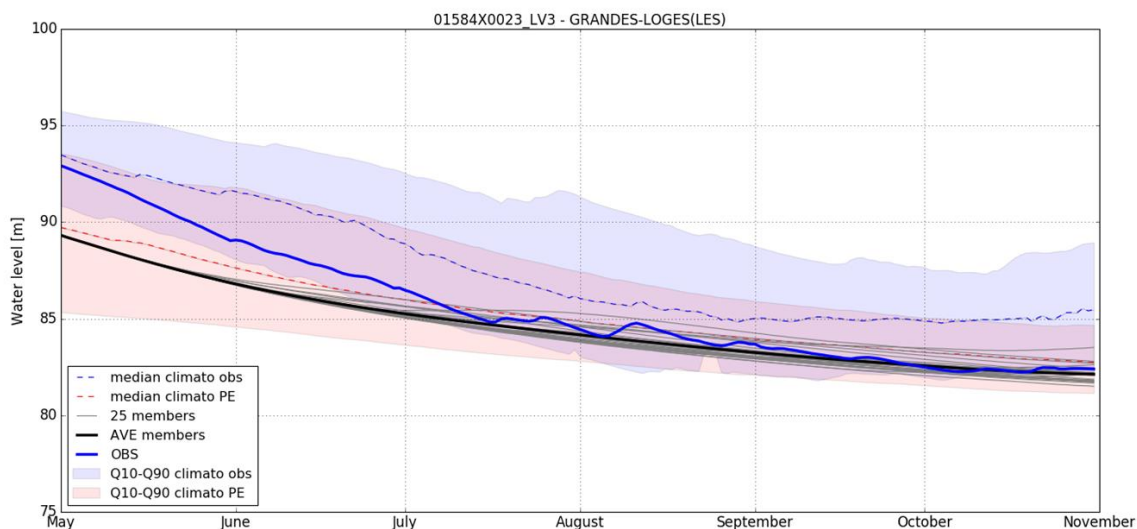


Figure 9 Prévision à 6 mois de la piézométrie à Grandes Loges (bassin de la Seine) pour l'année 2011. Le trait épais bleu aux observations en bleu (noté OBS) La zone en bleu correspond à 80% de dispersion observée sur la période Mai à Novembre sur l'ensemble de la période 1993-2016 (noté Q10-Q90 climato obs), avec la médiane en tiret bleu (noté median climato obs). Cela permet de se rendre compte que l'année 2011 est une année sèche par rapport à la climatologie observée. Les 25 courbes grises présentent la prévision saisonnière sur l'année 2011 (notée 25 members), et la courbe noire épaisse correspond à la moyenne de la prévision en noir (notée AVE members). La zone en rose correspond à 80% de la dispersion des prévisions d'ensemble sur la période 1993-2016 (noté Q10_Q90 climato PE), avec la médiane en tiret (noté median climato PE), montrant également que c'est une assez sèche pour les prévisions.

Cependant, il faudrait pouvoir discriminer dans les prévisions la part de l'erreur liée à la prévision météorologique et celle liée aux modèles hydrogéologiques. Pour ce faire, des comparaisons directes aux observations, mais, aussi à la réanalyse longue durée sont réalisées.

Avec le soutien financier de

**AGENCE FRANÇAISE
POUR LA BIODIVERSITÉ**
ÉTABLISSEMENT PUBLIC DE L'ÉTAT



Une illustration de cette séparation est présentée Figure 10. Elle montre que les prévisions saisonnières (en vert) semblent fiables comparativement à la réanalyse longue durée (en rose) même à 6 mois d'échéance. Cependant, les résultats peuvent s'éloigner des observations (en bleu), et cela, principalement du fait que la simulation de référence est biaisée..

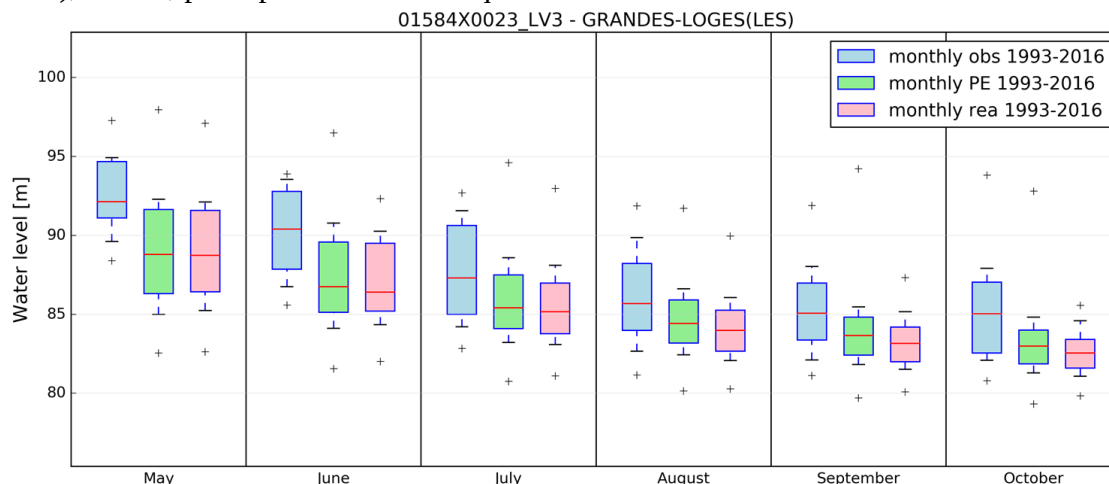


Figure 10 Evaluation de la pertinence des prévisions d'ensemble (PE) saisonnières (en vert, noté monthly PE), comparée aux observations en bleu, et à la réanalyse (en rose). Il s'agit de la distribution des niveaux sur les 24 années disponibles, par mois d'échéance.

Ces résultats ont pu être généralisés à l'ensemble du domaine. D'autres types de scores statistiques ont été calculés, notamment ceux utilisés pour qualifier la prévision d'ensemble. Afin d'illustrer la répartition spatiale des scores, la Figure 11 présente les corrélations obtenues à chaque mois d'échéance. Les scores élevés obtenus sont assez encourageants, mais n'indiquent pas forcément que la prévision est utile. Ils indiquent simplement que la prévision est capable d'anticiper la hausse ou la baisse du niveau piézométrique en chaque mois.

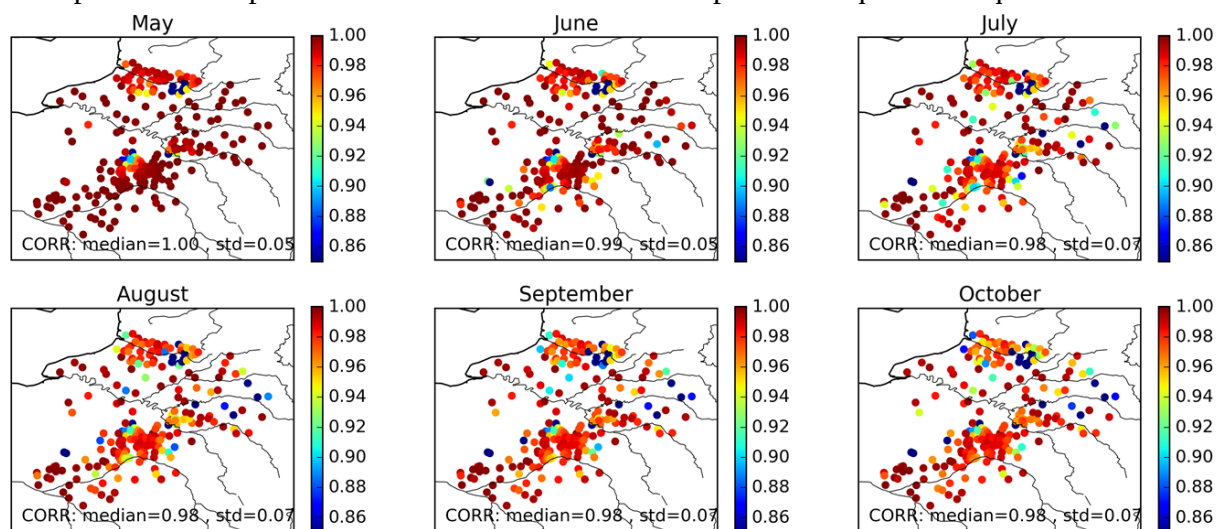


Figure 11 Carte des corrélations obtenues chaque mois entre les prévisions et les observations sur l'ensemble de la période de jeu disponible (23 ans).

Ces résultats sont encore préliminaires et doivent être approfondies. Afin d'associer assez tôt de futurs utilisateurs pour s'assurer de la bonne adéquation du produit avec leurs besoins et attentes, des réunions avec des gestionnaires de l'eau seront organisées prochainement. Une première rencontre avec la DRIEE est prévue mi Juillet 2018.

Avec le soutien financier de



En parallèle à ces travaux, il apparaît notamment Figure 9 qu'une source d'amélioration des prévisions saisonnières est l'amélioration des conditions initiales des prévisions. A cette fin, un stage M2 a été réalisé par Audrey Gervereau pour prendre en main le modèle HP-inv développé au LHYGES et permettant d'inverser les paramètres pour améliorer la simulation de la piézométrie, ce qui permet à la simulation de rester plus proches des observations. Le stage relativement court (4 mois), a tout de même permis de mettre en place le modèle sur le bassin de la Somme, et de tester différentes configurations. Il s'avère que cette approche semble très pertinente pour déduire des paramètres hydrogéologiques et ainsi améliorer l'estimation de la piézométrie. Cependant, des études complémentaires sont nécessaires pour voir comment intégrer ce potentiel au sein d'Aqui-FR.

6. Projections climatiques

L'étude des impacts du changement climatique sur les eaux souterraines avec Aquis-FR, commencé l'année dernière dans le cadre du stage M2 de Ryma Aissat, s'est poursuivie cette année avec l'aide de Julien Boé du Cerfacs qui a transmis l'ensemble des projections climatiques régionalisées de CMIP5 en sa possession, sur 4 scénarios d'émission de gaz à effet de serre. Cette étude est aussi un des volets de notre implication dans la convention service climatique.

Pour l'instant, les deux scénarios d'émission les plus contrastés ont été utilisés. A ce stade, on dispose de 8 modèles de climat pour le scénario RCP2.6 et de 10 modèles pour le scénario RCP8.5.

Mampionona Razanajatovo, actuellement en stage M1, étudie les incertitudes associées au choix de la période de référence, au nombre de modèles de climat, et l'impact des scénarios d'émission. Ce stage complète donc les premiers résultats qui sont illustrés ci-dessous. La Figure 12 illustre la variabilité temporelle au sein d'un modèle de climat (ici NOR1) et entre les deux scénarios d'émissions de GES. On constate que le niveau des nappes peut descendre au-delà de la période de retour 10 ans sec pour les deux scénarios d'émission, mais de façon beaucoup moins permanente pour le RCP2.6. Cela s'accompagne aussi de débits particulièrement secs (en dessous de la décennale sèche), même s'il y a toujours une forte variabilité temporelle.

Les résultats obtenus pour chaque modèle de climat sont ensuite moyennés sur une période de 30 ans et sur l'ensemble des modèles de climat pour construire les cartes des impacts du changement climatique pour chaque scénario d'émission (Figure 13). Il apparaît que pour le scénario RCP8.5, de nombreuses zones présentent un niveau des nappes inférieur à la décennale sèche, en particulier en Poitou Charente et à l'ouest du bassin Seine Normandie. L'extension de ces zones et l'intensité de la sécheresse est fortement réduite pour le scénario RCP2.6. Les débits associés présentent quelques points en dessous de la décennale sèche en moyenne sur 30 ans, mais, sont globalement en deçà d'une période de retour 2.5 ans sec pour le scénario 8.5, alors qu'ils restent majoritairement autour de la distribution moyenne actuelle pour le scénario 2.6. L'analyse de ces résultats doit être complétée, notamment en intégrant la fréquence de dépassement de certains seuils secs ou humides et la surface associés, ainsi qu'en complétant l'analyse des scénarios d'émission RCP 4.5 et 6.0, et en étudiant l'impact des prélèvements.

Avec le soutien financier de

**AGENCE FRANÇAISE
POUR LA BIODIVERSITÉ**
ÉTABLISSEMENT PUBLIC DE L'ÉTAT

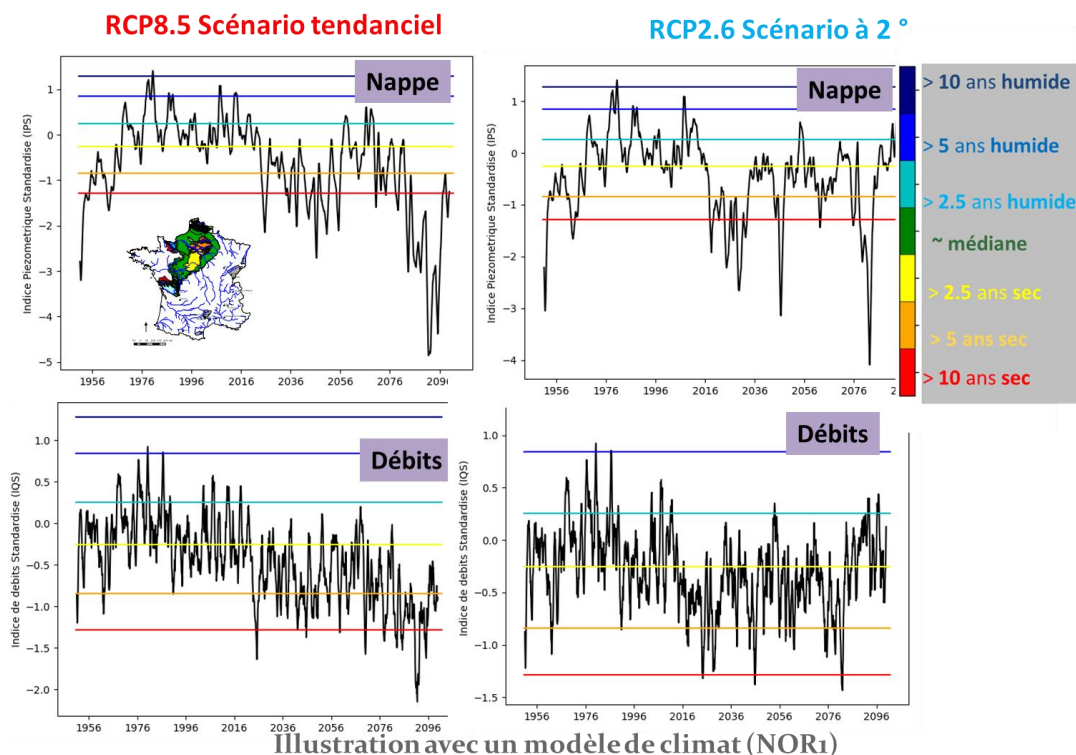


Figure 12 Evolutions temporelles de la moyenne sur le domaine modélisé des indices standardisés piézométrique (en haut) et des débits (en bas), estimés au pas de temps mensuel pour le modèle de climat NOR1 avec le scénario d'émission RCP8.5 à gauche et RCP2.6 à droite.

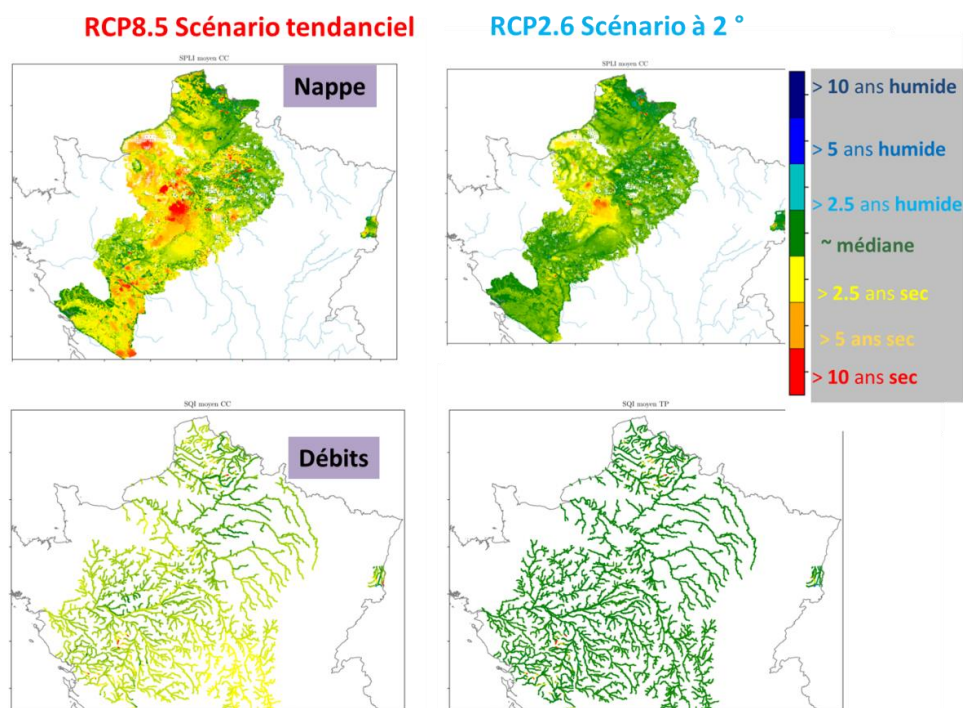


Figure 13 Cartes de la moyenne multi-modèle sur la période 2070-2099 des indices standardisés piézométriques (haut) et des débits (bas) pour le scénario d'émission RCP8.5 (gauche) et RCP2.6 (droite).

Avec le soutien financier de



7. Conclusion

Le projet Aqui-FR est passé d'une phase de développement à une phase de production. Si de nombreux travaux restent à mener, les premiers résultats sont intéressants et peuvent maintenant être exploités. Des discussions avec des gestionnaires sont nécessaires notamment pour vérifier la pertinence des indicateurs utilisés et l'adéquation des simulations vis-à-vis de leurs attentes et questions. Plusieurs réunions en ce sens sont prévues au cours de l'année 2018.

8. Références et Valorisation

- Carlier Candillon, L. (2016). Projet « Aqui-FR » Analyse de la variabilité annuelle des prélèvements en nappe en lien avec les conditions météorologiques et estimation des conséquences sur la prévision de l'état des eaux souterraines. Rapport M1 UPMC.
- Courtois et al., (2018) « [A hillslope-based aquifer model of free-surface flows in crystalline regions](#) ». Présentation à CMWR
- Habets, F., Amraoui, N., Caballero, Y., Thiéry, D., Vergnes, J., Morel, T., ... Etchevers, P. (2017). Plateforme de modélisation hydrogéologique nationale, 104.
- Habets et al., (2018) " Groundwater resource in northern France from XXth to XXIth centuries" Poster à CMWR
- Leroux et al., "Prévisions saisonnières des ressources en eau souterraine", Présentation à la journée de la convention Service Climatique le 4 Juin
- Roux et al., (2018) : « The Aqui-FR project: towards an operational forecast platform for the main regional multilayer aquifers in France “ presentation à CMWR
- Seguin, J. (2014). Proposition d'un indicateur piézométrique standardisé pour le Bulletin de Situation Hydrologique “Nappes.”
- Thiéry, D. (2018b) – Modélisation hydrologique globale des débits de 23 sources karstiques avec le logiciel ÉROS. Rapport BRGM/RP-67723-FR, 66 p., 23 fig.
<http://infoterre.brgm.fr/rapports/RP-67723-FR.pdf>
- Vergnes et al., (2018) « [The AquiFR hydrogeological modeling platform Evaluation of the 1958-2017 long-term simulation for the main regional multilayer aquifers in France](#)”

Avec le soutien financier de



www.afbiodiversite.fr

Logo organisme(s)
partenaire(s)

Site web partenaire