La Houille Blanche 2020, 5, 28–36
© SHF, 2020
https://doi.org/10.1051/lhb/2020045

Disponible en ligne :
www.shf-lhb.org

ARTICLE DE RECHERCHE / RESEARCH ARTICLE

« MétéEAU Nappes » : un site Internet contenant des services utiles à la gestion des étiages

Bruno Mougin[1,*], Jérôme Nicolas[2], Yannick Vigier[3], Hélène Bessière[2] et Stéphane Loigerot[3]

[1] BRGM, Direction Régionale Bretagne, 2, rue de Jouanet, 35700 Rennes, France
[2] BRGM, Direction de l'Eau, de l'Environnement, des Procédés et Analyses, 3, avenue Claude-Guillemin, 45060 Orléans, France
[3] BRGM, Direction des Infrastructures et Services Numériques, 3, avenue Claude-Guillemin, 45060 Orléans, France

Reçu le 20 mars 2020 / Accepté le 10 octobre 2020

Résumé – Le site Internet « MétéEAU Nappes » offre un ensemble de services permettant le suivi du comportement actuel et futur des aquifères en France et ainsi la disponibilité de la ressource en eau par anticipation. Il est possible, pour les points de surveillance actuellement proposés et associés à un modèle global, de visualiser les mesures les plus récentes issues du réseau piézométrique national. Ces données sont représentées sous forme de cartes et de courbes issues de travaux de modélisation et de prévision des niveaux des nappes en basses eaux en lien avec des problématiques de sécheresse. Ces prévisions, lancées sur 6 mois, sont comparées à des seuils piézométriques de sécheresse issus des arrêtés préfectoraux de restriction d'usage en cours. Des données météorologiques, hydrologiques et piézométriques sont mises en ligne en temps réel et en format interopérable sur 10 sites représentatifs de France métropolitaine. Les moyens technologiques employés afin d'aboutir à ces services sont : la technologie GPRS (à ce jour déployée sur près de 1400 stations du réseau piézométrique national) permettant de mettre à disposition quotidiennement les données mesurées, ainsi qu'une architecture technique dédiée s'appuyant sur des standards internationaux et sur des technologies récentes permettant le croisement de données temps réel de sources différentes et la valorisation de modélisations déjà effectuées. Le site Internet public ouvrira vraisemblablement en 2020.

Mots clés : niveaux des nappes / prévisions / étiage / temps réel

Abstract – "MétéEAU Nappes": a website with useful services for water and drought management. "MétéEAU Nappes" website offers a large range of services to follow the current and the future behavior of French aquifers and thus to anticipate possible availability of water resources. It is currently possible, for monitoring points proposed and associated with a global model, to visualize most recent measurements from national piezometric network. Data are accessible with maps and curves that are coming from models with low groundwater levels predictions useful for drought events. These forecasts, launched over 6 months, are compared with piezometric drought thresholds values that are coming from current prefectural orders with water use restriction during drought. Meteorological, hydrological and groundwater data are exposed in real time and in interoperable format on 10 case studies in France. The technological devices used to achieve these services are: GPRS technology (today deployed on nearly 1400 stations of the national piezometric network) to make data available every day, as well as a specific technical architecture based on international standards and recent technologies allowing to cross real-time data from different organisms and the exploitation of models already carried out. The public website will likely open in 2020.

Keywords: groundwater levels / predictions / low flow / real time

*Correspondance : b.mougin@brgm.fr

1 Introduction – Contexte et objectifs du projet

Depuis 2010, le schéma national des données sur l'eau (SNDE) fixe les objectifs, le périmètre et les modalités de gouvernance du système d'information sur l'eau (SIE)[1]. C'est dans ce cadre que sont développées les actions d'acquisition, de diffusion et de valorisation des données sur l'eau en France. Le portail eaufrance recense plusieurs sites Internet spécialisés (https://www.eaufrance.fr/les-donnees-des-sites-eaufrance).

Le BRGM, en tant qu'opérateur du réseau piézométrique national[2], a la responsabilité d'environ 1600 ouvrages de surveillance. Début 2019, environ 1400 de ces piézomètres ont basculé en mode de télétransmission GPRS[3]. Ce changement de protocole de télétransmission fait que désormais ces stations, récemment équipées, peuvent envoyer les données brutes horaires chaque matin sur un serveur FTP[4] dédié au BRGM d'Orléans. Ces données sont ensuite bancarisées dans une base de données dite « base de données brutes » (et répliquée dans un environnement BigData) avant d'être mises en ligne sur le web, en format interopérable (format SOS : Sensor Observation Service[5]) *via* des API (Application Programming Interface). Ces données piézométriques deviennent donc accessibles en quasi temps réel.

Le portail national ADES (Accès aux Données sur les Eaux Souterraines – https://ades.eaufrance.fr/), géré par le BRGM depuis 2003, a été modifié en 2017 afin de pouvoir mettre à disposition ces données collectées quotidiennement *via* la technologie GPRS.

Depuis 2017, le BRGM propose sur le portail ADES un nouvel indicateur appelé IPS[6] comme Indicateur Piézométrique Standardisé (Seguin, 2014). Cet indicateur peut être calculé pour chaque piézomètre pour le mois en cours ou le mois précédent. Cet outil est mis à disposition de tous *via* ADES, mais également par le biais d'un service web pour visualiser les évolutions et tendances à la hausse ou à la baisse des niveaux d'eau souterraine. Il permet également de comparer la situation de l'année en cours avec les années antérieures en affichant plusieurs années de mesures.

Actuellement, la collecte et la mise à disposition des données dans ADES à fréquence bimensuelle voire hebdomadaire favorise la réalisation de la composante « nappe » des Bulletins de Situation Hydrologique (BSH, https://www.eaufrance.fr/publications/bsh), notamment à l'échelle nationale et permet un appui aux mesures de gestion prises en période de sécheresse notamment. Le BSH nappes est constitué de cartes et de commentaires sur l'évolution mensuelle des ressources en eau souterraine en France (10 bulletins/an édités en début de mois). Chaque carte montre 31 indicateurs globaux et 264 indicateurs ponctuels.

Dans un contexte d'évènements climatiques de plus en plus forts (crue de mai–juin 2016, sécheresse hivernale en 2016–2017, sécheresse 2017...) en lien avec le changement climatique et donc de probables augmentations des tensions sur la ressource en eau, la disponibilité en temps réel et la prévision des niveaux des nappes sont des informations essentielles pour les acteurs de l'eau.

Afin de proposer une réponse aux besoins d'accès aux données et aux attentes sociétales actuelles grandissantes (quantité et qualité de la ressource en eau, pressions, changement climatique, sécheresse, remontée de nappe...), le projet de recherche BRGM dénommé « MétéEAU Nappes » a démontré l'intérêt et la possibilité de la mise à disposition de données sur les ressources en eau : mesures effectuées en quasi temps réel, données prédictives élaborées à partir du réseau piézométrique national et de sa banque de données historique. Elles sont mises à disposition sous forme de chroniques issues de travaux de modélisation et de prévision du niveau des nappes (hautes et basses eaux).

2 Choix des sites d'étude et modélisations

Le projet MétéEAU Nappes a, dans un premier temps, nécessité un inventaire des travaux de modélisation globale (réalisés ou en cours) disponibles au BRGM sur les indicateurs piézométriques, en identifiant les piézomètres utilisés et les objectifs visés (crue, sécheresse, volumes prélevables, contribution des eaux souterraines aux débits des rivières...). À l'issue de cette première phase, ce sont près de 220 modèles globaux[7] qui ont été recensés (pluviométrie – niveau piézométrique – débit de rivière). Ces modélisations s'appuient sur 130 ouvrages du réseau piézométrique national de surveillance, dont 40 d'entre eux sont des indicateurs sécheresse et 70 sont utilisés pour réaliser le BSH.

Après compilation et examen des résultats récoltés (notamment : données disponibles, pertinence du modèle utilisé et travail d'actualisation nécessaire), une liste argumentée des piézomètres pouvant être retenus pour ce projet a été éditée. Ce sont au final 10 sites d'étude qui ont été choisis (*cf.* Fig. 1) en s'appuyant sur les critères suivants : qualité de calage des modèles, existence de prévisions, piézomètres indicateurs ponctuels BSH et/ou sécheresse, année de début de mesure, représentativité d'une masse d'eau souterraine, existence d'enjeux locaux, contexte hydrogéologique, mode de télétransmission et compatibilité GPRS, pas de temps des modèles, prise en compte de prélèvements, aléas locaux (sécheresse, inondation, changement climatique).

[1] Un premier SNDE a été publié par l'arrêté interministériel du 24 août 2010. Une nouvelle version du SNDE a été publiée par l'arrêté ministériel publié au JO du 30 novembre 2018 qui abroge l'arrêté du 24 août 2010. Le SIE a été introduit dans le code de l'environnement (article L213-2) par la Loi sur l'eau et les milieux aquatiques du 30 décembre 2006.

[2] Réseau de surveillance répondant à la Directive Cadre européenne sur l'Eau (directive 2000/60/CE).

[3] GPRS : General Packet Radio Service.

[4] FTP : File Transfert Protocol.

[5] La Direction des Infrastructures et Services Numériques du BRGM travaille depuis plus de 10 ans dans le domaine de l'interopérabilité des capteurs et dans la diffusion de l'information environnementale (collecte-validation-diffusion de données d'observation ponctuelle issues de divers capteurs, conformité avec les standards OGC SWE (Open Geospatial Consortium, Sensor Web Enablement) et les recommandations INSPIRE...).

[6] Pour plus de détail, voir : https://ades.eaufrance.fr/Spip?p=ips.

[7] Modélisations réalisées avec les logiciels BRGM Gardénia ou Tempo.

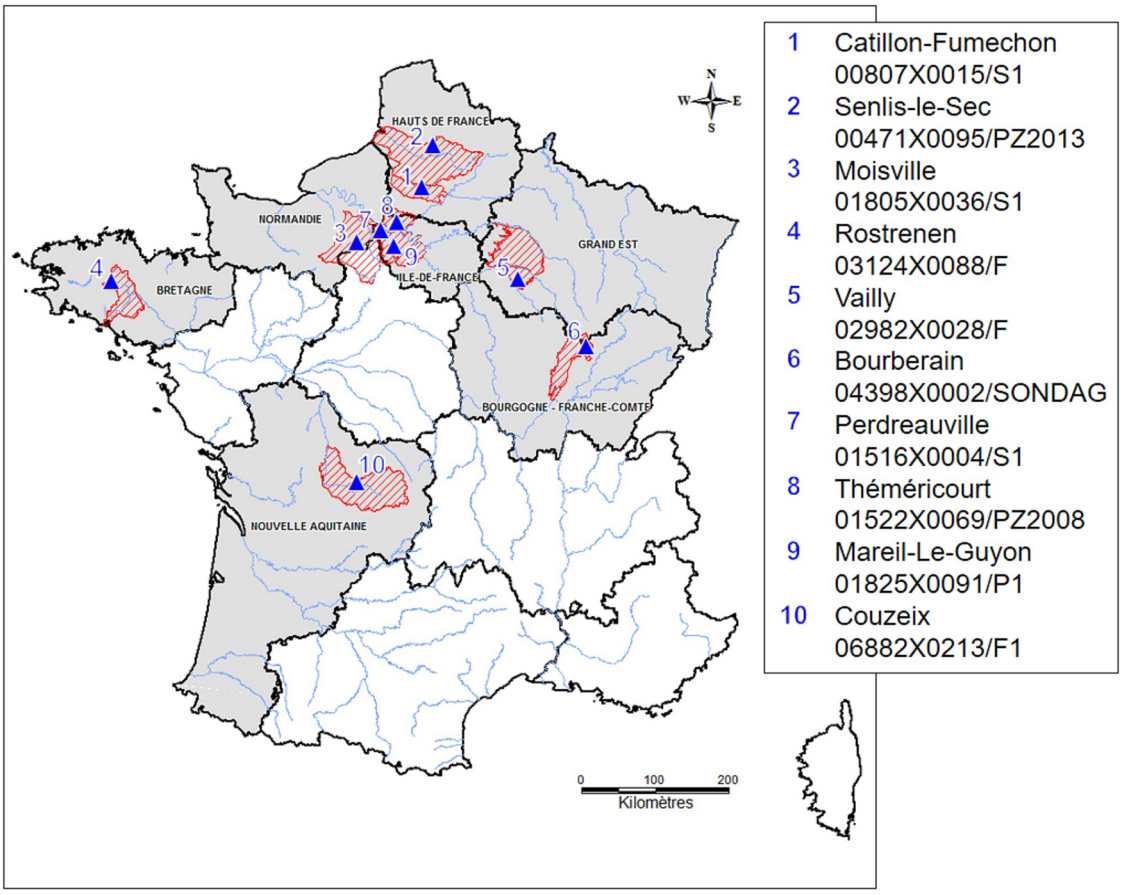


Fig. 1. Codes BSS[12] et localisation des 10 piézomètres sélectionnés pour le projet (triangles bleus) sur fond régional (en gris) et au droit des masses d'eau souterraine (en hachuré rouge). Source : BRGM, 2020.

De plus, les 10 piézomètres associés sont situés sur 9 masses d'eau souterraine dans 7 régions françaises et sont représentatifs de différents aquifères (craie, socle, calcaire ; *cf.* Fig. 1). Outre les enjeux locaux déjà cités (8 suivis sécheresse, 1 suivi inondation et 1 suivi changement climatique), il faut signaler que certaines modélisations globales servent aussi à alimenter des modèles maillés (Somme, Avre), et que le piézomètre de Vailly dans la région Grand-Est caractérise à lui-seul quatre rivières et une masse d'eau souterraine, tandis que les 3 piézomètres d'Ile-de-France servent à constituer l'indicateur piézométrique global des Yvelines.

Pour chacun des sites d'étude retenus, les étapes successives suivantes ont été réalisées : recherche d'une référence bibliographique, recensement des postes météorologiques et de la station hydrométrique utilisés, inventaire des prélèvements pris en compte, identification de seuils sécheresse/remontée de nappe définis (niveaux piézométriques de : vigilance, alerte, crise et crise renforcée), récupération des données issues des processus de modélisations plus anciens tels que ceux effectués avec les modèles Gardénia[8]-Tempo[9].

Ces modèles ont été repris, actualisés (données décadaires ou journalières) et recalés en conséquence, en tenant compte des particularités des dernières années climatiques (*cf.* Fig. 2). Pour compléter la démonstration « temps réel », dans l'attente de la disponibilité de données plus exhaustives sur le territoire, une seule station météorologique a été retenue pour chaque site d'étude (une pour la pluviométrie et une autre pour l'ETP[10]), tout en vérifiant que ce principe n'impactait pas la fiabilité du calage du modèle (*cf.* coefficient de Nash du calage de la piézométrie en Fig. 2). À titre d'information, 3 modèles ont été calés avec la prise en compte de prélèvements en rivière ou en nappe (*cf.* Fig. 2) ; ces derniers sont d'environ 30 millions de m^3/an sur le bassin versant de l'Avre, 3 millions de m^3/an sur le bassin de la Barbuise et 7 millions de m^3/an sur le bassin de la Brêche. Ainsi, ces volumes totaux ont été retirés des bilans hydrologiques.

Ces modèles globaux choisis ont ensuite permis, à partir des données d'entrée (météorologiques [pluies et ETP achetées à Météo-France], hydrologiques [débits des rivières extraits de la Banque Hydro[11]] et piézométriques [niveaux mesurés par le

[8] Pour plus de détails voir : https://www.brgm.fr/production-scientifique/logiciels-scientifiques/gardenia-logiciel-modelisation-hydrologique.

[9] Pour plus de détails voir : https://www.brgm.fr/projet/tempo-outil-modelisation-gestion-hydrosystemes.

[10] ETP : évapotranspiration potentielle.

[11] La Banque Hydro est un service français d'accès à des données hydrologiques fournies par des services de l'État et d'autres producteurs (http://www.hydro.eaufrance.fr/).

[12] BSS : Banque de données du Sous-Sol du BRGM (http://infoterre.brgm.fr/page/banque-sol-bss).

Rivière	Station hydrologique	N° station	Superficie BV (km²)	Piézomètre retenu	N° BSS piézomètre	Pluie BV	ETP BV	Prélèvements	Modèle	Pas de temps	Période modélisation	Nash (piézo.)	Problématique
Blavet	Kerien [Kerlouet]	J5202110	20.6	Rostrenen	03124X0088/F	Kerpert (22092001)	Kerpert (22092001)	non	Gardénia	journalier	1994-2018	0.77	sécheresse
Avre	Muzy	H9222010	880	Moisville	01805X0036/S1	Marcilly-la-Campagne (27390001)	Evreux-Huest (27347001)	oui	Gardénia	journalier	1990-2018	0.81	sécheresse
Barbuise	Pouan-les-Vallées	H1513210	187	Vailly	02982X0028/F	Les Grandes Chapelles (10166002)	Troyes-Barberey (10030001)	oui	Gardénia	décadaire	1972-2018	0.88	sécheresse
Bréche	Nogent-sur-Oise	H7602010	483	Catillon-Fumechon	00807X0015/S1	Creil (60175001)	Creil (60175001)	oui	Tempo	décadaire	1996-2018	0.88	sécheresse
Somme	Abbeville	E6470910+ E6470092	5560	Senlis-le-Sec	00471X0010/H1	Amiens-Glisy (80379002)	Abbeville (80001001)	non	Gardénia	journalier	1988-2018	0.77	crue
Tille	Champdôtre	U1244040	1258	Bourberain	04398X0002/SONDAG	Saussy (21589001)	Dijon (21473001)	non	Gardénia	journalier	1980-2018	0.86	changement climatique
-	-	-	-	Perdreauville	01516X0004/S1	Houx (28195001)	Chartres (28070001)	non	Gardénia	décadaire	1961-2018	0.94	sécheresse
-	-	-	-	Théméricourt	01522X0069/PZ 2008	Houx (28195001)	Trappes (78621001)	non	Gardénia	décadaire	1961-2018	0.85	sécheresse
-	-	-	-	Mareil-Le-Guyon	01825X0091/P1	Houx (28195001)	Chartres (28070001)	non	Gardénia	décadaire	1961-2018	0.92	sécheresse
Aurence	Isle	L0614020	87	Couzeix	06882X0213/F1	Limoges Bellegarde (87085006)	Limoges (87085006)	non	Tempo	journalier	2009-2018	0.90	sécheresse

Fig. 2. Tableau des stations retenues pour les modélisations Gardénia et Tempo des 10 bassins versants étudiés (BV). Source : BRGM, 2020.

BRGM]), la production de scénarios de prévision de niveaux de nappes en hautes et basses eaux (avec les scénarios pluviométriques suivants : prévision sans pluie, 10 ans sec, 5 ans sec, pluie médiane, 5 ans humide, 10 ans humide).

Suivant les sites concernés, les modèles Gardénia et Tempo ont été calés sur des périodes allant de 10 à 58 ans (en moyenne environ 38 ans de mesures utilisées) ; ceci correspondant à une actualisation des modèles sur des périodes de 3 à 13 ans.

En parallèle à ce travail de modélisation, les 10 piézomètres ont été équipés en 2016–2017 de moyens de télétransmission par GPRS afin d'accéder aux mesures en « quasi temps réel ».

3 Conception du site Internet et contenu

Dans la perspective d'une mise à disposition en quasi temps réel de diverses données brutes et valorisées sur un site Internet dédié, que ce soit sous forme de cartes et/ou de courbes dynamiques, un travail préliminaire de conceptualisation et d'élaboration des spécifications fonctionnelles du produit à créer a été nécessaire. Les canevas des modules de visualisation cartographique et graphique ont été établis, ainsi que l'ergonomie de représentation des données. Un prototype a été développé en 2016–2017 (Mougin *et al.*, 2018a) avant la création du site Internet MétéEAU Nappes, tout d'abord en version recette, puis avec une mise en production fin 2018 (mise en service d'un site public).

Ensuite, un inventaire des données temps réel moissonnables a été réalisé (pluviométrie – niveau piézométrique – débit de rivière) ainsi qu'un examen de leurs formats. Des échanges techniques ont eu lieu avec Météo-France (essais de récupération de jeux de données météorologiques temps réel à tester) ainsi qu'avec le SCHAPI[13] (avancées sur la mise à disposition des données de capteurs en temps réel, notamment débit de cours d'eau).

[13] SCHAPI : Service Central d'Hydrométéorologie et d'Appui à la Prévision des Inondations.

Comme cela a été précisé auparavant, les données piézométriques télétransmises *via* GPRS sont récupérées puis bancarisées dans une base de données brutes (avec système de gestion PostgreSQL) avant d'être mises en ligne sur Internet *via* un serveur SOS : serveur permettant l'accès aux données en format standardisé.

Cette base de données brutes a également été utilisée pour stocker les données de prévision de niveaux de nappe.

Les valeurs annuelles ou mensuelles des seuils sécheresse/remontée de nappe ont été récupérées en les associant à une source bibliographique, puis saisies dans le site Internet.

Les prévisions, calculées grâce aux modèles Gardénia et Tempo, ont été lancées sur une période de 6 mois à partir des mois d'avril–mai pour les sites à problématique de sécheresse (prévisions de basses eaux) et à partir d'octobre–novembre pour le site à problématique d'inondation (prévisions de hautes eaux). Les dates de début de prévision ont été adaptées à l'inertie de la nappe de chaque site. Une intervention manuelle est actuellement nécessaire pour transformer le fichier créé en sortie de modèle et arriver à un format compatible avec la base de données brutes.

Dans l'optique de demandes futures d'actualisation des prévisions, la capacité de rafraîchissement des données de chaque modèle a été examinée. Il apparaît qu'une mise à jour du calage annuel de certains modèles est nécessaire avant de lancer les prévisions de l'année (exemple : prise en compte de l'étiage sévère de 2017), et que ces prévisions pourraient ensuite être actualisées au pas de temps souhaité par l'utilisateur après avoir alimenté le modèle avec les données des derniers mois qui précèdent la période de prévision (pluie – ETP – niveau piézométrique).

La plupart des chroniques affichées dans le site Internet proviennent de web services (*cf.* Fig. 3) :

- la piézométrie historique est extraite d'ADES *via* le service Hub'Eau appelé « API Piézométrie » (http://hubeau.eaufrance.fr/) ;
- la piézométrie en quasi temps réel et les prévisions de niveaux piézométriques arrivent du SOS BRGM ;

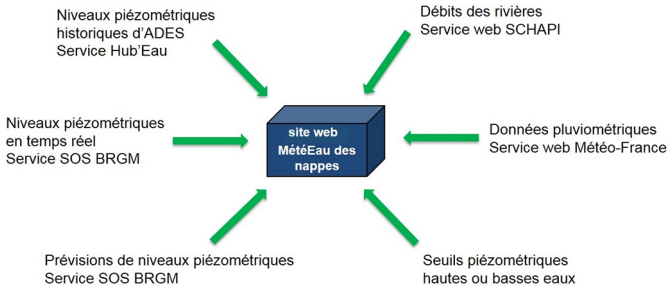


Fig. 3. Architecture applicative du site Internet MétéEAU Nappes. Source : BRGM, 2020.

- les débits des rivières découlent du service de diffusion des données du réseau Vigicrues du SCHAPI (https://www.vigicrues.gouv.fr/)[14] ;
- la pluviométrie provient du service de diffusion des stations du réseau SYNOP de Météo-France (https://donneespubliques.meteofrance.fr/?fond=produit&id_produit=90&id_rubrique=32).

Les autres données ont été saisies dans une interface de configuration du site Internet :

- les seuils piézométriques hautes eaux ou basses eaux (avec source bibliographique associée) ;
- les métadonnées associées aux modèles présentés (logiciel/modèle utilisé, pas de temps, période de calage, coefficient de corrélation, postes utilisés, côte du terrain naturel au droit du piézomètre).

À partir de cette architecture, les modalités d'affichage des données à présenter sur le site Internet ont été définies (localisation des stations, symbologies des points et des courbes, graphiques représentant les données, valeurs mesurées, ergonomie de représentation de toutes ces données...).

4 Mode opératoire du site Internet

Un site Internet, s'appuyant sur des briques logicielles libres, a été mis en service. Il offre une interface fonctionnelle et ergonomique qui sert de base de travail pour exposer des données en format interopérable sur les 10 sites étudiés.

Après s'être connecté au site Internet MétéEAU Nappes, une carte de la France apparaît avec la localisation des diverses stations suivantes (*cf.* Fig. 4) :

- les ronds oranges symbolisent les stations pluviométriques du réseau SYNOP de Météo-France ;
- les chevrons verts correspondent aux stations hydrométriques du réseau Vigicrues ;
- les symboles de couleurs différentes sont les piézomètres du BRGM étudiés dans le cadre de ce projet.

Il est possible de faire apparaître ou disparaître ces différents points en cochant une des cases de la légende (*cf.* encart noté A en Fig. 4).

[14] En attendant la mise à disposition de l'API Hydrométrie de Hub'Eau fournissant les débits des rivières extraits de la Banque Hydro.

La symbologie et la coloration des piézomètres correspondent à ceux du BSH : tendance d'évolution (hausse-stable-baisse) et état de remplissage (IPS calculé sur 7 classes allant de niveaux très bas [en rouge] à des niveaux très hauts [en bleu foncé]). Dans le site Internet, cet affichage s'appuie sur le calcul de l'IPS à la date de consultation de la carte, grâce à l'utilisation du service web IPS sur la base des données piézométriques validées d'ADES concaténées avec celles acquises en temps réel.

En cliquant sur l'un des piézomètres, une fenêtre d'information s'affiche avec : le numéro BSS du point, la dernière mesure d'ADES, la tendance actuelle d'évolution du niveau de la nappe, l'état de son niveau et un lien permettant d'accéder à un bulletin piézométrique (*cf.* Fig. 5). Ce bulletin est rafraîchi à la date du jour grâce à une fiche dynamique.

Une carte de localisation du piézomètre est visible dans la partie B de la page du bulletin (*cf.* Fig. 5). Au droit de l'encart C en figure 5, un graphique s'affiche avec : le débit de la rivière (en bleu), la pluviométrie (en histogrammes bleus clairs), la piézométrie d'ADES (vert-bleu) et la piézométrie temps réel (vert clair). Pour les données en temps réel, le débit est affiché au pas de temps 10 minutes avec une actualisation 2 fois par jour, la pluviométrie est journalière et elle est rafraîchie chaque jour, et la piézométrie est horaire avec une mise à jour quotidienne.

En ce qui concerne les données temps réel de pluie et de débit, compte-tenu des stations météorologiques et hydrométriques actuellement disponibles en temps réel (réseaux SYNOP et Vigicrues), il arrive fréquemment que les postes présentés dans le site Internet soient différents de ceux utilisés dans les modèles (*cf.* Fig. 2). Ces stations « temps réel » sont parfois assez éloignées des bassins versants étudiés, il n'est donc pas pertinent de les intégrer dans les modèles Gardénia-Tempo. L'évolution de l'équipement des stations de mesure et les échanges en cours avec Météo-France devraient permettre de faire évoluer cette situation. Du côté des débits de rivière, le moissonnage des données de la Banque Hydro permettra de résoudre ce problème d'éloignement de la station hydrométrique de référence prise en compte dans le modèle.

Dans la partie D de la page du bulletin (*cf.* Fig. 5), un graphique compile plusieurs données : la piézométrie d'ADES (vert-bleu), la piézométrie temps réel (vert clair), les prévisions (bleu foncé-bleu clair-vert-orange-rouge-noir) et les seuils piézométriques (traits horizontaux jaune-orange-rouge).

Pour ces deux graphiques C et D (*cf.* Fig. 5), plusieurs outils sont disponibles :

- possibilité d'afficher ou pas les courbes en cliquant sur les cases au-dessus du graphique ;
- boutons de zoom sur une période donnée au-dessus du graphique ;
- barre de navigation dans le temps présente sous le graphique ;
- déplacer le curseur sur chaque courbe pour afficher en infobulle les valeurs associées.

En haut à droite du graphique D, un bouton bleu avec un point d'interrogation (noté E en Fig. 5) permet d'afficher les métadonnées associées au modèle utilisé.

À partir des mois d'avril–mai, le graphique D (*cf.* Fig. 5) permet de savoir si des prévisions vont amener la nappe à descendre sous les valeurs seuils d'alerte, d'alerte renforcée et

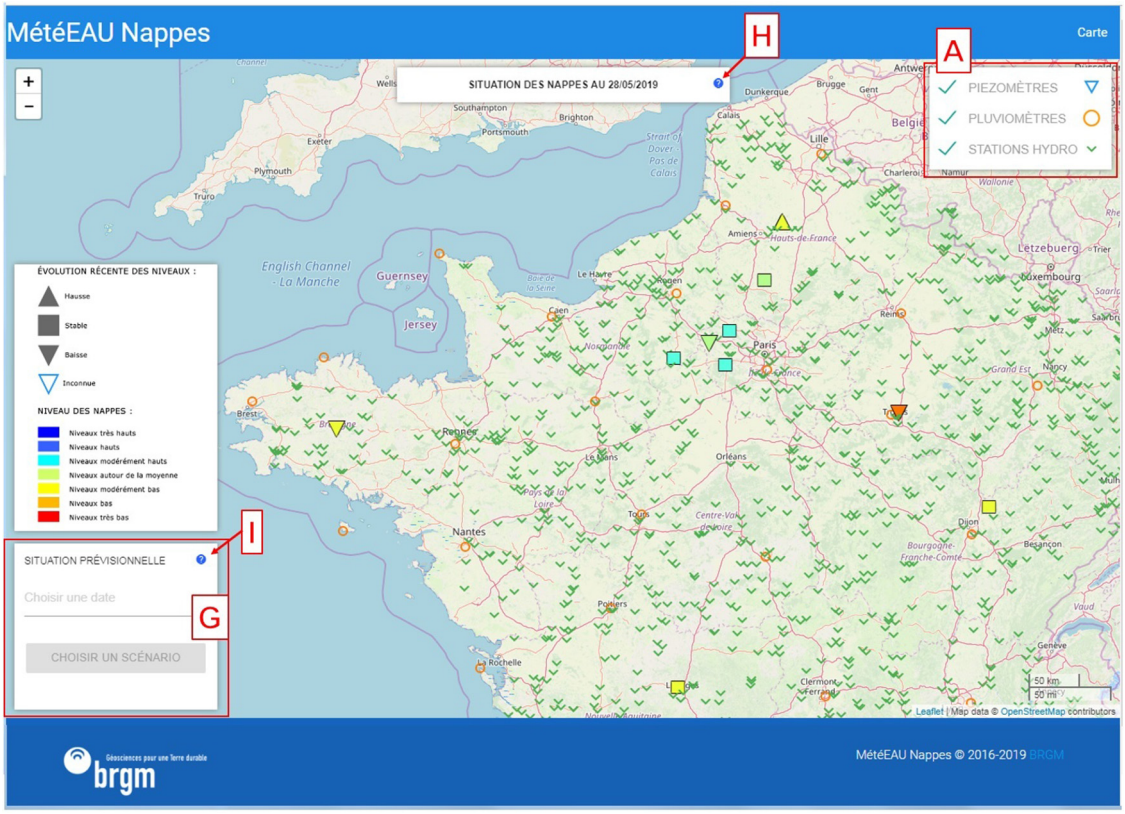


Fig. 4. Copie d'écran de la partie cartographique du site Internet MétéEAU Nappes (à la date du 28/05/2019). Source : MétéEAU Nappes.

de crise pendant sa période de vidange jusqu'à l'étiage. Il est ainsi possible d'anticiper et de se préparer à gérer une situation de sécheresse estivale. Par ailleurs, grâce à l'affichage des données piézométriques temps réel, la chronique montre comment le niveau de la nappe évolue chaque jour vis-à-vis des scénarios climatiques et des seuils piézométriques.

Le graphique C est également utile (*cf.* Fig. 5), car il apporte des renseignements sur les autres composantes du cycle de l'eau (pluviométrie et débit de rivière). Il permet de voir si la nappe réagit ou pas aux fortes précipitations et de visualiser le comportement de la relation nappe-rivière. Par ailleurs, l'information en temps réel d'un épisode pluvieux important se déroulant en période de sécheresse permet d'anticiper une limitation probable des prélèvements en eau souterraine (exemple : arrêt temporaire de l'irrigation) et par conséquent de pouvoir imaginer une baisse plus restreinte des niveaux piézométriques (qui pourraient ne pas encore atteindre un seuil sécheresse).

Chaque page du site Internet est imprimable afin de pouvoir disposer d'un document papier lors d'une réunion.

En cela, ces cartes et graphiques datés du jour de consultation constituent un réel avantage par rapport à l'affichage statique de chroniques anciennes. Le site Internet MétéEAU Nappes constitue donc un véritable outil d'aide à la décision (OAD).

En revenant sur la partie « Carte » de MétéEAU Nappes (*cf.* bouton F de la Fig. 5), l'utilisateur retrouve la page d'accueil du site Internet. Sur cette page, il est possible de demander une situation prévisionnelle de niveaux de nappes (*cf.* encart G de la Fig. 4). Après une double requête de l'utilisateur (date dans le futur, puis scénario climatique [exemple : 5 ans sec]), les piézomètres, disposant d'un modèle avec prévisions disponibles à la date choisie, changent de couleur et de symbole en fonction respectivement de l'état de remplissage et de l'évolution prévue (IPS prévisionnel calculé sur la base de la courbe prévisionnelle demandée). À titre d'exemple, la figure 6 montre ce que donne cette situation prévisionnelle à la date du 30 juin 2019 (remarque : ce calcul a été lancé le 28/05). Cette fonctionnalité permet de répondre cartographiquement à une question du type « quel sera le niveau statistique de ma nappe dans 3 mois (échéance à choisir par l'utilisateur) avec un scénario climatique 10 ans sec (scénario à choisir par l'utilisateur) ? ».

En haut de la page d'accueil et en bas à gauche au droit de l'encart G (*cf.* Fig. 4), des boutons bleus avec un point d'interrogation (*cf.* H et I en Fig. 4) permettent d'indiquer à l'utilisateur ce qu'il est en train de visualiser (carte dynamique de situation, ou indicateur piézométrique standardisé prévisionnel).

Malgré la mise en service effective du site Internet MétéEAU Nappes réalisée fin 2018 (mise en production), l'adresse publique du site n'a pas encore été communiquée. Le BRGM envisage de le faire d'ici fin 2020 en ouvrant un site public avec accès réservé (par mot de passe).

Par ailleurs, d'ici la fin d'année 2020, le BRGM enrichira le site Internet avec l'ajout d'une fonctionnalité permettant de rafraîchir à pas de temps mensuel les prévisions exposées. Cela nécessite de mener un travail préalable sur l'automatisation de la chaîne de traitement associée à ces prévisions (réception

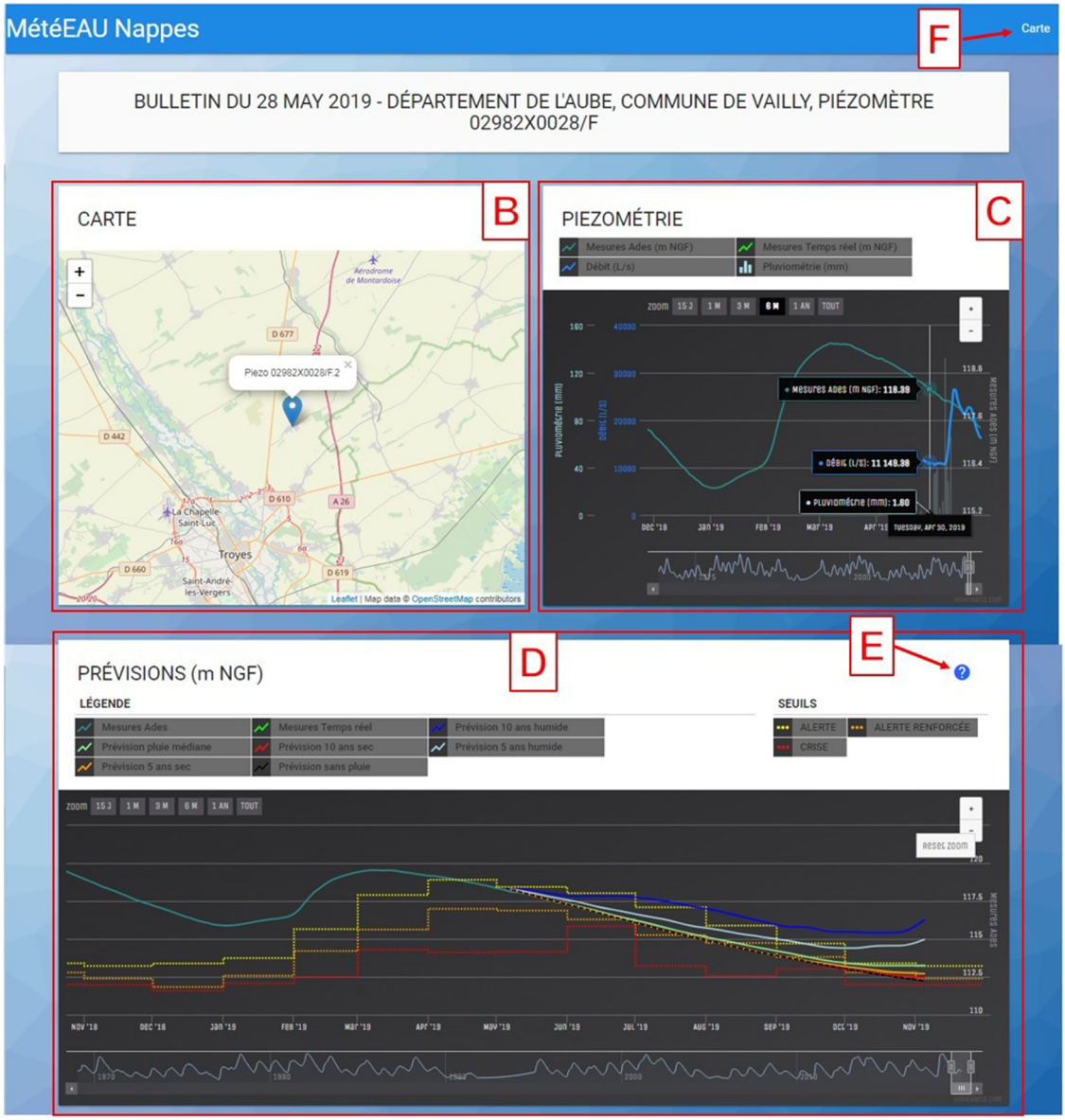


Fig. 5. Copie d'écran de la partie graphique du site Internet MétéEAU Nappes (à la date du 28/05/2019). Source : MétéEAU Nappes.

mensuelle d'un mail de Météo-France contenant des données commandées, récupération des autres données temps réel à entrer dans le modèle, lancement du logiciel Gardénia *via* des routines de calcul, prévisions en sortie de modèle qui arriveront directement sur le site Internet).

5 Conclusions et perspectives

Le site Internet MétéEAU Nappes démontre à travers des avancées technologiques et scientifiques : la capacité de générer (à la volée) à partir de données issues de différents producteurs et accessibles en temps réel une carte affichant un BSH prévisionnel (IPS calculé sur la base des prévisions de niveaux piézométriques selon divers scénarios climatiques), et des courbes permettant la superposition d'un ensemble d'informations pertinentes (niveaux piézométriques : anciennement mesurés, données temps réel, niveaux prévisionnels ; seuils piézométriques sécheresse/crue ; débit de rivière temps réel ; pluviométrie temps réel).

Ainsi, le site Internet devient un véritable outil d'aide à la décision pour la gestion de la ressource en eau dans les territoires à forts enjeux. En effet, il offre un ensemble de services permettant le suivi du comportement actuel et futur des aquifères en France et par extension, pour les aspects de gestion, à la disponibilité de la ressource en eau par anticipation.

Il permet de répondre à des problématiques liées à la ressource en eau souterraine (conflits d'usages, sécheresses, inondations, remontées de nappe, changement climatique...) grâce à une meilleure compréhension et anticipation du comportement des aquifères.

Ce site Internet s'appuie sur des données mises à disposition par différents producteurs institutionnels (SCHAPI, Météo-France, BRGM), issues de leurs processus

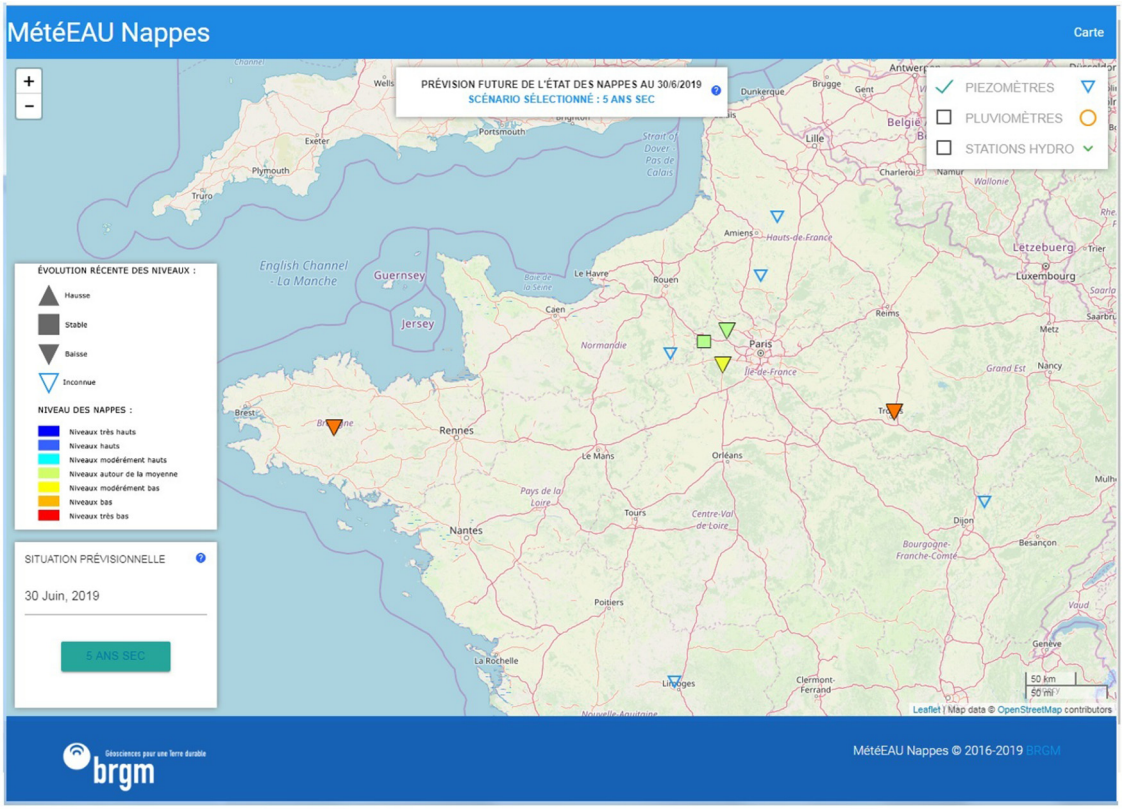


Fig. 6. Copie d'écran de la partie cartographique du site Internet MétéEAU Nappes (à la date prévisionnelle du 30/06/2019). Source : MétéEAU Nappes.

respectifs de surveillance des ressources en eau. Cet outil valide et encourage à poursuivre les efforts entamés sur la mise à disposition des données en format interopérable et en temps réel.

Au cours de la vie du projet, quelques obstacles au temps réel ont cependant été observés : nombre de stations remontant des données temps réel limitées chez Météo-France, données mensuelles/annuelles des prélèvements en eau souterraine intégrées aux modèles utilisés, besoin d'évolution des logiciels/modèles utilisés (consommation de données temps réel et fourniture de données interopérables), piézomètres ne pouvant pas être équipés en GPRS (du fait de l'absence de couverture réseau), changement en cours d'année des seuils piézométriques sécheresse, arrêt du suivi des stations climatiques et/ou hydrométriques...

Une trentaine de partenaires publics et privés ont déjà manifesté leur intérêt sur le site Internet actuel (DREAL, DDTM, Service de Prévision des Crues, Météo-France, Agences de l'Eau, Régions et Départements, EPCI, Presse, Industriels, Opérateurs numériques...). Ce site Internet contenant des services utiles à la gestion des étiages est donc très attendu.

Suite à des contacts avancés avec quelques organismes en 2018–2019, le BRGM poursuit le développement du côté innovant du produit MétéEAU Nappes (qui est modulable et interopérable), affine la proposition de valeur, réfléchit à des « business model canevas » et reste ouvert à la discussion pour proposer différentes voies de valorisation (création de services pour des organismes publics, transfert rémunéré vers le secteur privé, vente de certains services numériques [exemple : API spécifique privée]...).

Les perspectives suivantes sont actuellement envisagées : augmenter le nombre de piézomètres présentés sur le site Internet dans le cadre de futurs partenariats (rappel : plus de 200 modèles ont été recensés), faire évoluer le BSH nappes vers un bulletin prévisionnel, recourir aux techniques d'intelligence artificielle pour produire des prévisions de niveaux de nappe, améliorer la prise en compte de l'évolution future des prélèvements d'eau.

Remerciements. Les auteurs remercient le BRGM d'avoir financé le projet de recherche MétéEAU Nappes de 2015 à 2018. Ces travaux ont permis : l'édition d'un site Internet dédié, la réalisation de nombreuses actions de communication (avec notamment une participation à six Congrès internationaux (Mougin *et al.*, 2016, 2018b, 2018c ; Bessière *et al.*, 2017, 2018 ; Gourcy *et al.*, 2018), une publication scientifique (Mougin *et al.*, 2018a) et une intégration à la Forge logicielle BRGM (traçabilité/archivage des demandes d'évolution du site Internet).

Les auteurs remercient également les deux relecteurs anonymes du Bureau Editorial pour leurs examens très constructifs de cet article.

Références

Bessière H, Mougin B, Vigier Y, Nicolas J, Loigerot S. 2017. "MétéEau Nappes": A decision making tool to characterize in

almost real-time groundwater quantitative state. In: *44th IAH International Congress "Groundwater Heritage & Sustainability", 25–29 September 2017*, Dubrovnik, Croatia. Oral presentation of abstract n° T4.4.1. Session n° T4.4.

Bessière H, Mougin B, Vigier Y, Nicolas J, Loigerot S. 2018. Groundwater level forecast using SensorWeb flows: "MétéEAU des nappes" BRGM Project. A decision making tool to characterize in almost real-time groundwater quantitative state. In: *106e Comité Technique de l'Open Geospatial Consortium. OpenDay sur le thème « De l'espace au sous-sol, des données et des services pour la gestion des territoires », 19–23 mars 2018, Orléans. WMO/OGC Hydrology Domain Working Group & RDA Global Water Information Interest Group meeting, Oral presentation 21st March*.

Gourcy L, Bessière H, Mougin B, *et al*. 2018. Herramientas para la gestión de las aguas subterráneas durante los eventos extremos. In: *Oral Communication. X Congreso Argentino de Hidrogeología y XIV Congreso Latinoamericano de Hidrogeología, 23 al 26 de octubre de 2018*, Salta, Argentina.

Mougin B, Nicolas J, Loigerot S, Bessière H. 2016. Forecast the evolution of groundwater levels by improving national piezometric network's data, and provide public access to almost real-time data (maps and curves). From the sensor to measured data dissemination: "la MétéEau Nappes". In: *43rd IAH International Congress "Groundwater and society: 60 years of IAH", 25–29 September 2016*, Montpellier, France. Flash oral presentation of e-poster n° 1568. Session n° 3.01.

Mougin B, Nicolas J, Bessière H, Vigier Y, Loigerot S. 2018a. Vers une prévision en temps réel du niveau des nappes françaises ? L'outil d'aide à la décision « MétéEau des nappes ». *Revue Géologues* 195: 16–21.

Mougin B, Vigier Y, Bessière H, Nicolas J, Loigerot S. 2018b. "MétéEau des nappes": A tool able to show impacts of climate change on groundwater resource at local scale. Oral Communication at Session "Signals and indicators of impacts on water resource 2". In: *International Conference Climate Change & Water 2018, February 5–7*, Tours, France.

Mougin B, Vigier Y, Loigerot S, Nicolas J, Bessière H. 2018c. "MétéEau des nappes": A decision making tool mixing water cycle's various data for characterizing in almost real-time groundwater quantitative state. Oral Communication. "Session 06: S07-1: Data Assimilation" (abstract 224). In: *International Conference Computational Methods in Water Resources XXII, June 3–7 2018*, Saint-Malo, France.

Seguin JJ. 2014. Proposition d'un indicateur piézométrique standardisé pour le Bulletin de Situation Hydrologique « nappes ». Rapport final BRGM/RP-64147-FR.

Citation de l'article : Mougin B, Nicolas J, Vigier Y, Bessière H, Loigerot S. 2020. « MétéEAU Nappes » : un site Internet contenant des services utiles à la gestion des étiages. *La Houille Blanche* : 28–36