

Appréhender et prédire le risque de manque d'eau sur un captage d'eau souterraine

Matthieu Baïssat¹, Vincent Berionni², Hugo Lovighi¹, Marjorie Clergue¹

¹ ImaGeau groupe SAUR - Cap Alpha 9 avenue de l'Europe 34830 Clapiers – matthieu.baïssat@imageau.eu

² SAUR - 11 chemin de Bretagne 92130 Issy-les-Moulineaux – vincent.berionni@saur.com

Les effets du changement climatique sur la disponibilité des ressources en eau souterraine lors des périodes estivales se font ressentir de manière croissante. Ils obligent les collectivités à se doter d'outils permettant d'avoir une vision continue et qualifiée du stock d'eau souterraine disponible. Cette connaissance passe forcément par une parfaite maîtrise et valorisation de la donnée acquise sur le champ captant et la nappe phréatique dans son ensemble. Pour ce faire, des outils informatiques permettent d'aider l'exploitant dans ses prises de décision. EMI (Environmental Monitoring Interface), est l'un d'entre eux. Cette web application permet de garantir la disponibilité de données validées, converties de manière quotidienne en indicateurs métiers. EMI calcule des indicateurs de sécheresse sur tous les ouvrages de production d'eau souterraine et sur les piézomètres implantés dans la même masse d'eau. Ces derniers sont mis en perspective avec des seuils critiques dans les forages (niveaux captant, position de la pompe), les modalités d'exploitation et l'état de productivité de l'ouvrage. Sur la base de cette analyse croisée, l'exploitant peut alors moduler les prélèvements et gérer les interconnexions entre les ressources. Des modèles de « machine learning » intégrés à l'application permettent de prédire ces risques dans le futur proche. Ils fournissent des prédictions sur le niveau minimal attendu dans l'ouvrage en fonction de différents scénarii d'exploitation et météorologiques. EMI est un outil d'aide à la décision au quotidien vis-à-vis de la gestion de crise. A moyen terme il permet également d'optimiser le maintien du patrimoine et la préservation des ressources.

Mots-clefs : outil informatique, risque sécheresse, machine learning

Analyzed and predict the risk of lack of water on an underground water production site

In a context of growing urbanization and climate change, underground water resources are increasingly vulnerable. The installations used to extract them are often old. Today, they need to be monitored more closely to ensure sustainable exploitation and long-term resource survival. To help municipalities and operator, EMI is a web-based application used for secure groundwater and well management. Every day, EMI queries public databases and data from the well field (level sensors, flowmeters, etc.). This information is analyzed and validated. If a malfunction occurs, a maintenance alert is sent to the operator. Based on these verified data, algorithms are used to calculate site vulnerability indicators for drought, clogging of the installations and quality of the groundwater. Dashboards, graphs, map displays, PDF reports and an alert system give municipalities and operator a real-time, comprehensive view that is instructive as to the state of the underground water resources and the assets. These data enable the operator to implement preventive maintenance actions. Furthermore, machine learning models have been implemented to EMI in order to predict future groundwater levels.

Key words: data management, drought vulnerability, machine learning

I INTRODUCTION

En France, à l'horizon 2070 la recharge des nappes sera vraisemblablement réduite de 10 à 25 % ; les débits moyens des cours d'eau seraient quant à eux réduits de 10 à 40%, avec des phénomènes d'étiages sévères [Carroget, 2017]. A l'échelle mondiale, ces chiffres pourraient être plus alarmants, où dans un scénario « business as usual », les ressources en eaux pourraient être déficitaires de 40 % à l'horizon 2030 [Unesco, 2015]. Sans se projeter aussi loin, en France, l'hiver 2017 se classe parmi les cinq hivers les plus secs sur la période 1959-2017 ; suivi d'un hiver 2019 également déficitaire en précipitations d'environ 20%. Cette situation est aggravée en 2019 par des phénomènes de canicules extrêmes : le mois de juillet est enregistré comme le plus chaud jamais mesuré dans le monde. Ces conditions climatiques obligent l'Etat Français à prendre des arrêtés de restriction d'eau. Fin août 2019, 188 arrêtés qui concernent 85 départements sont en cours. Nombreux de ces derniers atteignent le niveau de crise, interdisant les prélèvements non prioritaires y compris des prélèvements à des fins agricoles. Seuls les prélèvements permettant d'assurer l'exercice des usages prioritaires sont autorisés (santé, sécurité civile, eau potable, salubrité).

Ces restrictions d'eau permettent de limiter les étiages des cours d'eau et la vidange estivale des nappes. Cependant, dans certains cas elles ne suffisent pas à empêcher des situations de crise vis-à-vis de l'alimentation en eau potable : parfois, le niveau d'eau dans le forage de production passe sous le niveau de la pompe. Sans interconnexion avec une autre ressource en eau d'origine différente, la population doit alors être alimentée par des camions citernes.

Pour limiter et anticiper ces situations, des solutions technologiques émergent : EMI (Environmental Monitoring Interface), outil de protection des nappes et forages, est l'une de ces solutions.

II APREHÉNDER LE RISQUE DE MANQUE D'EAU SUR UN SITE DE PRODUCTION D'EAU SOUTERRAINE : PRÉSENTATION GÉNÉRALE DE L'OUTIL EMI

L'analyse du risque de manque d'eau sur un captage d'eau souterraine est dépendante de plusieurs facteurs qui régissent le niveau d'eau dans le captage :

- L'évolution du niveau général de la nappe,
- Les modalités d'exploitation du champ captant,
- L'évolution de la productivité et du colmatage du captage.

L'appréhension de ces éléments se fait trop souvent de manière dispersée, avec des données provenant de différentes bases, ne permettant pas d'avoir une vision centralisée et exhaustive. De plus la donnée en provenance de ces installations est souvent défailante, suite à des défauts de maintenance sur les équipements de métrologie, des perturbations électriques du signal, ou tout simplement l'absence de sondes.

Afin d'améliorer la gestion quantitative des champs captant et d'anticiper les situations de crise, un outil informatique, EMI, a été développé. Quotidiennement, cette application Web collecte les données issues de capteurs installés dans les ouvrages de prélèvement d'eau souterraine (niveau d'eau, débit, volume, temps de pompage...). EMI interroge les serveurs de l'Etat afin d'obtenir des données complémentaires acquises sur la même masse d'eau (réseau piézométrique ADES, réseau limnométrique BanqueHydro, open data climatique). Les données collectées sont vérifiées et utilisées dans des algorithmes spécialisés afin de calculer des indicateurs vis-à-vis de : la vulnérabilité à la sécheresse, du rendement du captage et de la qualité de l'eau. En cas de dégradation d'un indicateur ou de dysfonctionnement d'un capteur, des alertes sont envoyées aux gestionnaires afin de mettre en place des actions correctives. Des rapports automatiques de synthèse et/ou de crise, sont envoyés automatiquement. EMI permet ainsi d'anticiper les risques, d'optimiser les performances d'exploitation, d'éviter les surcoûts, et de disposer d'une information centralisée de l'état des ressources en eau d'un territoire (Figure 1).

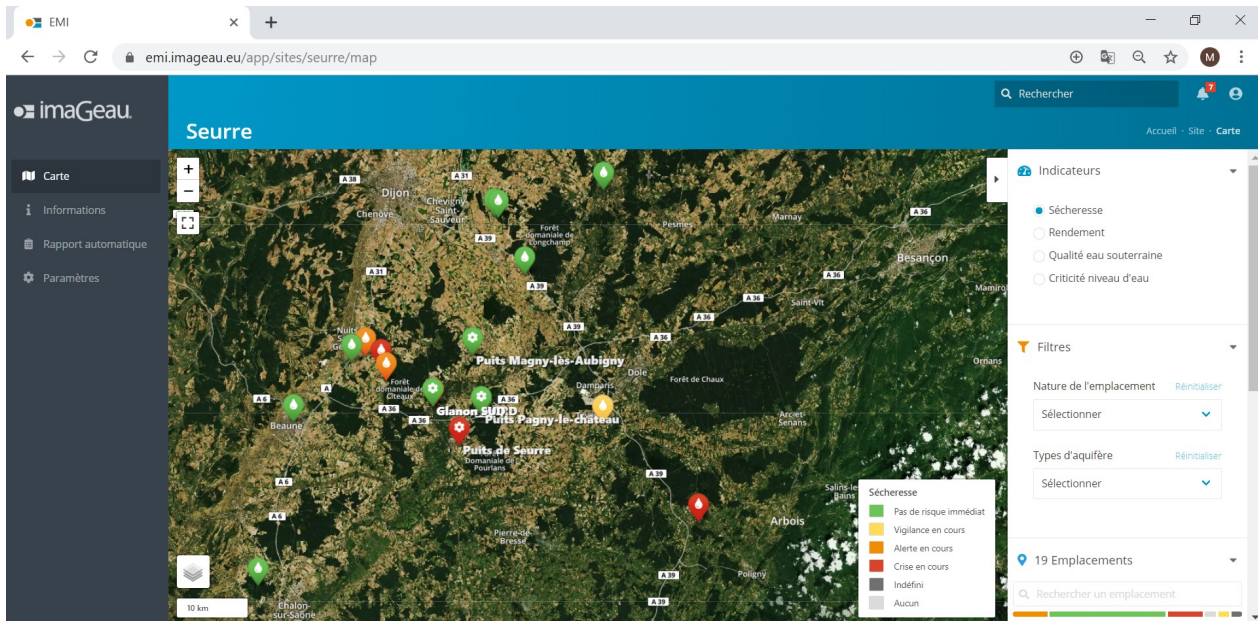


Figure 1 : Evaluation du risque de manque d'eau à l'aide de la solution EMI sur le Syndicat des Eaux Seurre Val de Saône, alimenté par 5 forages captant 3 aquifères différents

III VALIDATION ET VALORISATION DE LA DONNÉE

III.1 Validation de la donnée

Régulièrement, la donnée environnementale peut-être défaillante. Ainsi, si les entrées d'un [système](#) informatique sont mauvaises ou absentes, les sorties le sont forcément aussi. Ce principe peut être résumé par l'adage classique en simulation : « garbage in, garbage out (GIGO) ». Pour pallier ces risques et améliorer la maintenance de la métrologie, l'outil informatique est implémenté de plusieurs boucles de validation de la donnée brute et de la donnée traitée.

Des outils statistiques permettent pour tout type de donnée et de manière automatique de comparer une valeur vis-à-vis de son historique (c.-à-d., détecter toute modification importante par rapport à la déclaration précédente). Ainsi, tout écart qui ne respecte pas les limites établies est signalé et fait l'objet d'une analyse. Une vérification d'intervalle de confiance s'assure également que la donnée est comprise dans un intervalle réaliste. L'outil teste également la complétude d'un set de donnée afin que pour une variable donnée, à une fréquence connue, le nombre de données remontées soit conforme au nombre de données théoriques attendues. Les données sont alors compilées et toute valeur extrême, toute donnée suspecte et toute [valeur aberrante](#) est rejetée. Le cas échéant, des alertes de maintenance sont automatiquement envoyées, permettant de résoudre les problèmes de métrologie et d'assurer la disponibilité de la donnée en période de crise.

III.2 Valorisation de la donnée : des indicateurs clefs

Dans un ouvrage de production, trois indicateurs sont calculés afin d'appréhender le risque de manque d'eau selon : la disponibilité de la ressource, la productivité de l'ouvrage et la hauteur d'eau disponible au-dessus de la pompe. L'outil informatique EMI est connecté avec le centre de pilotage opérationnel de l'exploitant et tout changement de statut d'un indicateur conduit à une chaîne d'interventions graduelles selon le degré de risque. Ces indicateurs sont notamment les données de base pour gérer les interconnexions entre les différentes ressources.

III.2.1 Indicateur sécheresse

L'indicateur sécheresse permet de qualifier le niveau actuel de la nappe vis-à-vis de son historique. Il est calculé à partir du niveau statique mesuré dans le forage de production. En effet, l'outil informatique s'assure

de mesurer le niveau statique, calé en NGF, lorsque la pompe est arrêtée depuis exactement 1 h 30 (paramètre modifiable par l'utilisateur). Ainsi le niveau d'eau dans l'ouvrage est affranchi de l'influence du pompage, et l'ouvrage de production peut être utilisé comme un piézomètre (Figure 2).

Des seuils mensuels sont définis à partir des historiques de [niveaux statiques](#). Les calculs sont réalisés sur la totalité des niveaux statiques du mois considéré à partir de l'ensemble des données historiques disponibles sur ce même mois. S'il y a moins de 15 ans de données, ces seuils sont calculés selon des règles statistiques centrées sur la moyenne et le minimum des chroniques. S'il y a plus de 15 ans de données, l'indicateur est calculé selon la méthode IPS, Indicateur Piézométrique Standardisé. [Seguin JJ., 2015].

Niveaux d'eau



Figure 2 : Mesure du niveau statique dans un ouvrage de production et comparaison à son historique

De manière automatique, le même calcul est appliqué à tous les piézomètres du réseau ADES captant la même masse d'eau que l'ouvrage de production concerné. Ainsi la collectivité dispose d'une information de niveaux statiques qualifiés sur l'ensemble de ses sites de production et sur toute la nappe captée (Figure 1).

III.2.2 Indicateurs rendement de l'ouvrage

L'indicateur "Rendement/colmatage" traduit l'état de vieillissement de l'ouvrage. En effet, un ouvrage colmaté ne permet pas un écoulement optimal de l'eau de l'aquifère vers la surface. L'extraction de l'eau souterraine demande alors plus d'énergie, provoque un vieillissement prématuré des pompes et peut altérer la qualité de l'eau captée. En situation de sécheresse, un ouvrage colmaté accentue la baisse du niveau d'eau et peut accélérer le risque de manque d'eau.

Pour appréhender ce risque, EMI calcule quotidiennement le débit spécifique de l'ouvrage : rapport du débit moyen en pompage sur le [rabattement](#) associé. De nombreuses conditions d'exploitation et de validation de la donnée sont appliquées pour l'obtention de cette valeur. Il est considéré qu'une baisse de plus de 15% du débit spécifique par rapport à celui d'origine est synonyme d'une dégradation de l'ouvrage et doit amener la collectivité à réaliser une inspection (Driscoll, 1986). Le suivi du débit spécifique permet donc de programmer des inspections par caméra vidéo des ouvrages et d'anticiper des opérations de décolmatage ou d'inspection des pompes (Figure 3).

Débits spécifiques

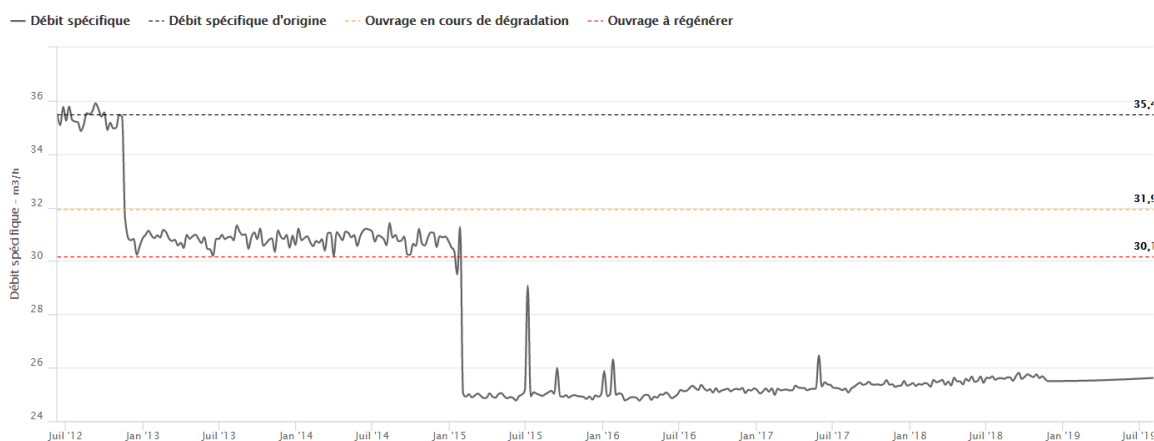


Figure 3 : Suivi du débit spécifique dans un ouvrage de production

III.2.3 Indicateur criticité de niveau d'eau

L'indicateur "criticité de niveau eau" qualifie le niveau d'eau dans l'ouvrage par rapport à la position de la pompe (côte NGF du haut de la pompe). En effet pour son bon fonctionnement et son refroidissement, la pompe doit impérativement être en eau. L'indicateur est calculé en comparant la valeur du niveau d'eau minimal par rapport à la position de la pompe (côte NGF du haut de la pompe). La collectivité est avertie lorsque ce dernier est inférieur à deux mètres. En dessous d'un mètre, la situation devient critique et doit mener l'exploitant à prendre des actions correctives, notamment en période estivale (Figure 4). Pour anticiper ce phénomène, un module prédictif utilisant des méthodes de « Machine Learning » est intégré à EMI. Le niveau minimal dans l'ouvrage peut ainsi être prédit avant la rupture de la continuité de service public.

Niveaux d'eau

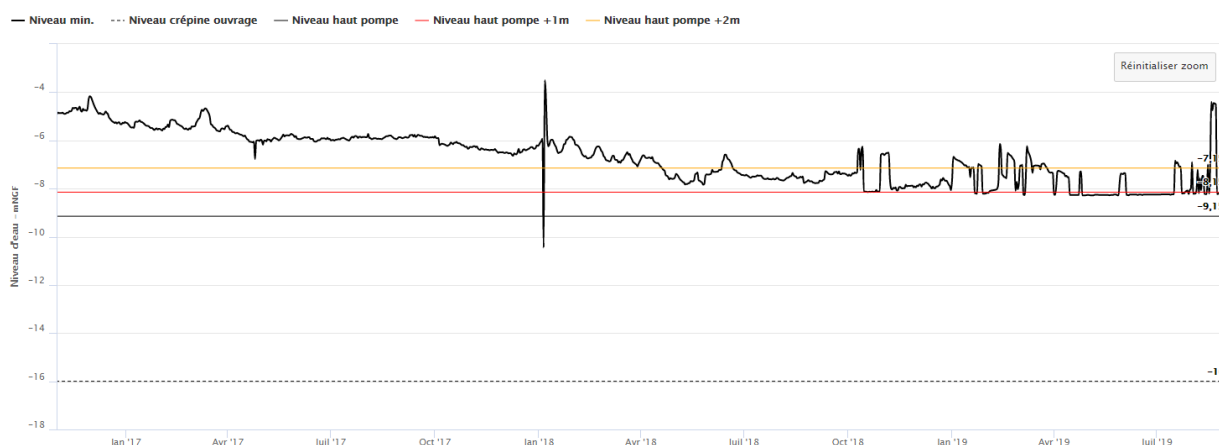


Figure 4 : Suivi du niveau minimum dans un ouvrage de production au regard de la position de la pompe

IV PRÉDIRE LES RISQUES DE MANQUE D'EAU

En fonction des conditions hydrologiques, le niveau d'eau disponible au-dessus du système de pompage peut devenir critique. L'exploitant doit alors anticiper et prévoir une éventuelle crise pour mettre en place les solutions permettant d'assurer la continuité de service. Pour l'aider dans cette tâche, des modèles de Machine Learning ont été implémentés à EMI, avec les objectifs suivants :

- Prédiction de niveau de nappes de différentes natures (nappes libres, nappes captives) en fonction de l'historique des précipitations et du débit des cours d'eau communiquant avec les nappes sollicitées pour la production d'eau potable.
- Anticipation de la disponibilité de la ressource en eau sur un lieu de forage (niveau d'eau par rapport aux niveaux de pompages) au regard du débit de pompage et à la consommation attendue à 15 jours.
- Simulation de différents scénarios météorologiques et de pompage, étude d'impact sur le niveau des nappes.

IV.1 Modélisation par algorithme de machine Learning

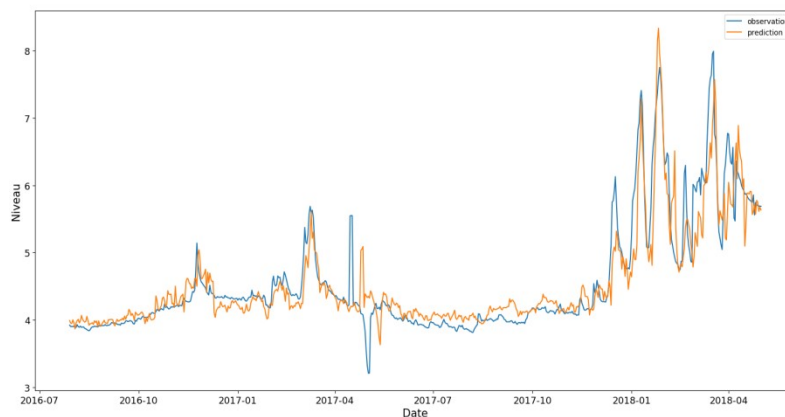
Le Machine Learning est une discipline destinée à l'analyse des données, dont le but est d'apprendre un comportement physique de manière automatique à partir de données brutes.

Cet apprentissage se décompose en 3 étapes principales. La première consiste à "entraîner" l'algorithme, qui apprend sur un échantillon de données historiques. La seconde, appelée 'test', sert à mesurer et valider la performance du modèle en comparant les prévisions du modèle avec les valeurs réelles du passé. Cela permet alors de déployer les modèles en temps réel avec un degré de confiance élevé lors d'une dernière étape.

Plusieurs algorithmes de Machine Learning récemment développés (Réseaux de neurones, Gradient Boosting) peuvent être employés pour prévoir le niveau d'une nappe. Ces derniers, qui ont la capacité d'apprendre de corrélations et implications complexes, ont vu leur utilisation augmenter significativement avec l'essor de l'intelligence artificielle. Les modèles établis dans le contexte de la gestion prédictive de la ressource en eau reposent sur l'utilisation des plusieurs de ces algorithmes, sélectionnés de manière ciblée pour une performance optimale sur chaque nappe.

IV.2 Utilisation pour la gestion de crise

Un module utilisant les algorithmes de Machine Learning est intégré à EMI. Ce dernier permet de prédire la hauteur d'eau au-dessus de la pompe à 20 jours selon différents modèles de précipitations. A l'aide de cet outil, l'exploitant dispose de scénarios de disponibilité de la ressource, et peut adapter les différentes interconnexions entre ressources et/ou prévoir un éventuel ravitaillement par camion-citerne. Cette fonctionnalité peut être associée à un modèle de prévision de la demande en eau à échéance identique, permettant ainsi d'anticiper encore plus finement un risque de tension sur l'approvisionnement en eau. L'utilisateur a également la possibilité de tester des scénarios de diminution des prélèvements afin de simuler le rabattement de la nappe et l'évolution du niveau minimum en fonction du débit de pompage choisi sur plusieurs jours, de manière à évaluer l'impact de la sollicitation future du forage.



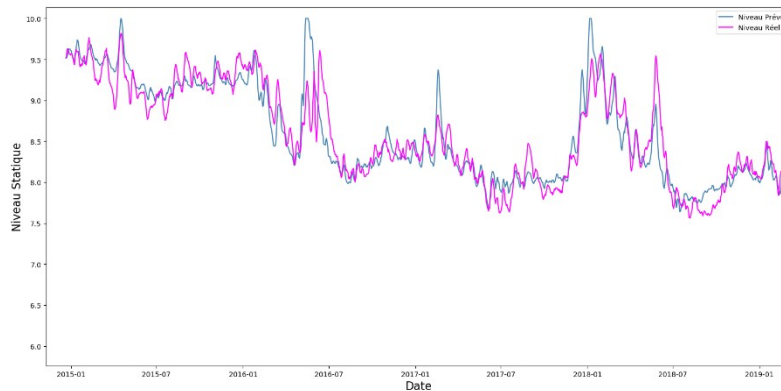


Figure 5 : Prédiction du niveau minimum et statique de deux nappes libres à 20 jours (valeurs prédites en orange et magenta, mesurées en bleu)

Les erreurs moyennes sont proches de la dizaine de centimètre jusqu'à une échéance de 20 jours et augmentent avec la durée de prédiction. Dans certains cas, il est possible de prévoir le niveau d'une nappe à plus long terme, 30 jours et plus, lorsqu'on est en présence d'une nappe dite captive, dont la recharge est significativement déphasée des précipitations.

Ces gammes d'incertitudes sont acceptables pour l'exploitant, qui peut s'appuyer sur des tendances d'évolution et adapter ses schémas d'exploitation au regard de cette information et de la prévision de la demande en eau potable. La plus grande partie de l'écart entre la prévision et la réalité est générée par la non connaissance des précipitations à plus de 7 ou 10 jours : cette incertitude se résorbe de manière importante lorsque la pluviométrie est supposée connue jusqu'au jour de la prévision. Ce constat permet notamment de proposer des scénarios "sec" ou "humide", indiquant ainsi des évolutions favorables ou défavorables, basées sur les probabilités de précipitations pendant la période correspondante, d'après l'historique. L'exploitant peut donc déterminer le risque d'entrer en situation de crise à une échéance sélectionnée.

V PRISE DE DÉCISION

Pour chaque ouvrage un tableau de bord synthétise le statut de chacun des indicateurs et les dernières données d'exploitation (Figure 6). Véritable tour de contrôle du champ captant, cet outil permet à la collectivité de prendre des décisions de répartition des prélèvements au regard de la ressource disponible et de réaliser des opérations de maintenance préventive.

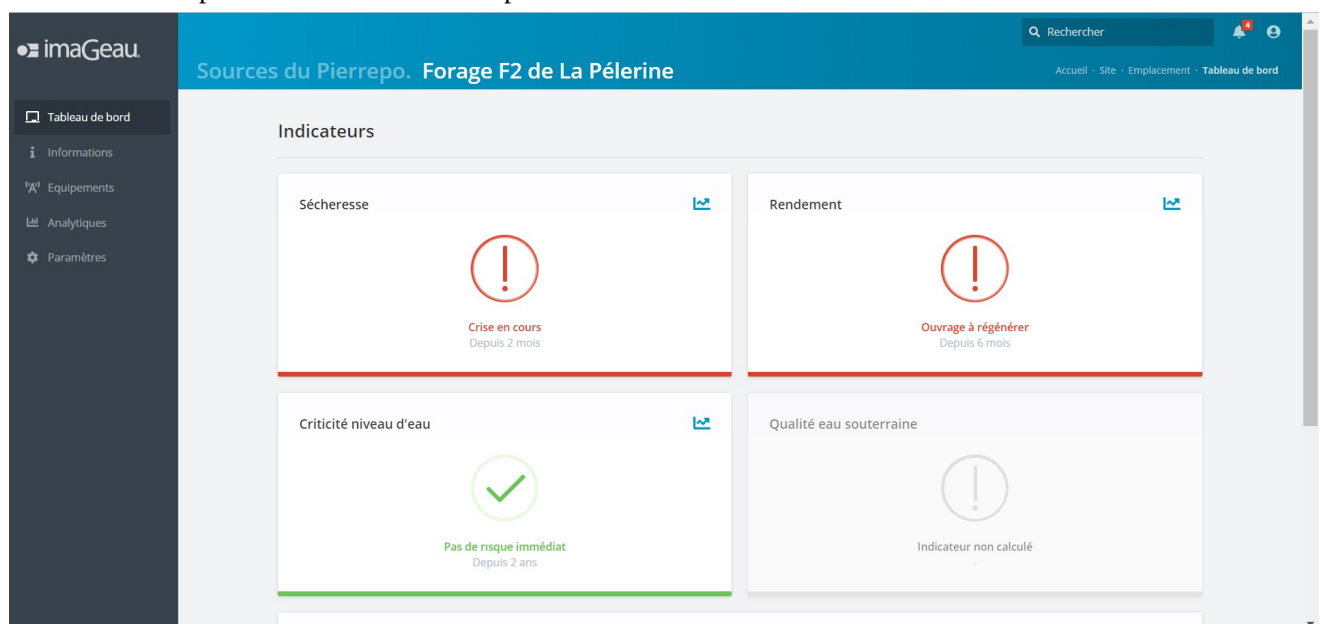


Figure 6 : tableau de bord d'un ouvrage de production

Un rapport automatique de l'état quantitatif du champ captant permet également à la collectivité de communiquer facilement sur les risques de manque d'eau lors des comités sécheresse départementaux par exemple.

VI CONCLUSIONS

Les effets du changement climatique sur la disponibilité des ressources en eau se font déjà ressentir et, de manière croissante. Ils obligent les collectivités à se doter d'outils permettant d'avoir une vision qualifiée du stock d'eau disponible. Cette connaissance passe forcément par une parfaite maîtrise des données acquises sur le champ captant et la nappe dans son ensemble. Pour ce faire, des outils informatiques valorisent ces données. EMI, est l'un d'entre eux. Cette web application convertit quotidiennement des données validées en plusieurs indicateurs métier. Ces derniers fournissent aux collectivités et aux exploitants une vision quotidienne des risques liés à l'exploitation de l'eau souterraine. Cet outil d'aide à la décision permet une action de la collectivité à deux échelles : sur le court terme, la mise en place d'actions correctives en période de crise et sur le moyen terme, la planification des opérations de maintenance des ouvrages de prélèvement. L'exploitation se fait ainsi de manière préventive plutôt que curative.

VII. REFERENCES

Driscoll F., (1986) – Groundwater and wells - Library of Congress Catalog Card – P 598

A. Carroget, C. Perrin, E. Sauquet, J.P. Vidal, S. Chazot, et al.. (2017). - Explore 2070 : quelle utilisation d'un exercice prospectif sur les impacts des changements climatiques à l'échelle nationale pour définir des stratégies d'adaptation ? . Sciences Eaux & Territoires , IRSTEA, pp.4-11.

Seguin JJ, (2015) – Proposition d'un indicateur piézométrique standardisé pour le bulletin de situation hydrologique « nappe », rapport final, BRGM/RP-64147-FR

WWAP, (2015) - The United Nations World Water Development Report 2015: Water for a Sustainable World. UNESCO: Paris,