

Etablissement d'un réseau de référence piézométrique pour le suivi de l'impact du changement climatique sur les eaux souterraines et essai de détermination d'un index piézométrique standardisé
Vernoux J.F., Seguin J.J.

Synthèse pour l'action opérationnelle

Le niveau des nappes d'eau souterraine dépend pour beaucoup d'entre d'elles de l'infiltration des eaux météoriques et sera donc nécessairement impacté par le changement climatique (CC) si celui-ci provoque des modifications du régime d'infiltration (intensité, période). Pour évaluer et suivre l'impact de ce changement, l'ONEMA a confié au BRGM une étude sur 3 ans devant déboucher sur la mise en place d'un réseau de référence piézométrique.

L'étude a débuté par une synthèse bibliographique des travaux réalisés sur l'impact du changement climatique sur le niveau des nappes d'eau souterraine et une analyse statistique des données piézométriques existantes (en France) visant à détecter une non stationnarité dans les séries étudiées (tendances, ruptures), non stationnarité dont les causes seront à rechercher.

La synthèse bibliographique distingue les travaux de détection de tendance sur des données existantes, des travaux de prévision d'évolution de la recharge des nappes d'eau souterraine sur la base des modèles climatiques et des scénarios d'émissions de gaz à effet de serre. On trouve dans la littérature des travaux sur les données qui influencent le niveau des nappes d'eau souterraine, à savoir les précipitations et les températures, cependant concernant la tendance d'évolution des niveaux piézométriques, on constate qu'en raison du manque de données, aucune tendance ne peut être déterminée pour le 20^{ième} siècle et que les baisses observées de niveau piézométrique sont essentiellement liés aux prélèvements dans les nappes d'eau souterraine. A l'échelle de la France les tendances pour les variables climatiques sur la période 1959-2000 montrent une augmentation de la température sur l'ensemble du territoire et une tendance à l'augmentation des précipitations sur les deux tiers nord de la France et une tendance à la baisse sur le tiers sud. A noter que les tendances calculées pour les précipitations sont souvent non significatives. Les travaux sur les changements climatiques futurs à l'échelle de la France confirment l'augmentation des températures de l'air. Pour les précipitations, les changements apparaissent incertains pour l'hiver et l'automne, et avec une tendance à la diminution au printemps et en été. Pour les eaux souterraines, les simulations réalisées dans le cadre du projet RExHySS sur les bassins de la Seine et de la Somme montrent que, d'ici une cinquantaine d'années, le déficit de recharge serait de 30% (Ducharne et al., 2009).

Afin de détecter d'éventuelles tendances liées au changement climatique sur les niveaux d'eau souterraine en France, nous avons réalisé une analyse statistique des données de suivi piézométrique sur un certain nombre d'ouvrages sélectionnés en fonction des critères suivants : piézomètre en nappe libre, non influencé avec plus de 30 ans de données. Nous avons ainsi sélectionné 375 piézomètres sur les 3344 disponibles dans la banque ADES. Ces piézomètres sont inégalement répartis, pour l'essentiel sur les bassins Artois-Picardie, Rhin-Meuse et Seine-Normandie. Une première analyse de tendance a été réalisée sur les piézomètres sélectionnés afin de voir si des tendances régionales se dégagent. Une analyse statistique plus poussée a été réalisée dans un deuxième temps afin de rechercher des changements (tendance et

rupture) dans les séries piézométriques et surtout leur significativité (au sens statistique). La recherche de tendance a été réalisée par régression linéaire et test de Mann-Kendall en tenant compte d'une autocorrélation éventuelle dans les séries. La recherche de rupture a été réalisée par le test de Pettitt. Pour la recherche de tendances les tests ont porté sur 6 variables annuelles : les moyennes annuelles, les maximums annuels, les minimums annuels, la moyenne annuelle des maxima mensuels, la moyenne annuelle des minima mensuels et les moyennes d'un mois particulier (décembre).

Les premiers calculs de tendance sur les 375 piézomètres sélectionnés (données brutes) montrent une tendance à la baisse pour 54%, à la hausse pour 29% et à la stabilité pour 17%. La répartition géographique de ces tendances montre une forte hétérogénéité : seule la nappe de la craie montre une tendance marquée à la baisse en Champagne et Bourgogne tandis que cette même nappe montre une tendance marquée à la hausse dans le bassin Artois-Picardie.

Les calculs de tendance par régression linéaire ("modifiée" ou non suivant la présence d'autocorrélation) et la méthode de Mann-Kendall ("modifiée" ou non suivant la présence d'autocorrélation) ont été effectués sur 325 piézomètres. Les piézomètres montrant une très forte autocorrélation (nappes à très forte inertie, type nappe de Beauce) n'ont pas été pris en compte. Dans les résultats finaux présentés, 5 variables sont prises en compte (les valeurs de décembre, n'étant pas vraiment contributives, sont exclues). Une note de 1 est attribuée à une variable lorsque la tendance est significative (0 sinon). Le "score" maximum caractérisant un piézomètre est donc de 10 (5 variables, 2 méthodes). A ce stade de l'étude, la tendance est jugée significative pour au moins une méthode et une variable (score minimum de 1). Les résultats obtenus sont les suivants :

- pour 109 piézomètres en nappes à cycle annuel, 33 montrent une tendance à la baisse significative et 21 une tendance à la hausse significative ;
- Pour 126 piézomètres en nappes à cycles mixtes avec un cycle annuel plus marqué, 9 montrent une tendance à la baisse significative et 10 une tendance à la hausse significative ;
- Pour 52 piézomètres en nappes à cycles mixtes, aucun ne montre une tendance ;
- Pour 38 piézomètres en nappes à cycles mixtes avec un cycle pluriannuel plus marqué, un seul montre une tendance à la baisse significative et 3 une tendance à la hausse significative ;

Pour les piézomètres en nappes à cycle pluriannuel, les tests ne peuvent être appliqués sur des chroniques de 30 à 50 ans, en raison d'une forte inertie des systèmes, induisant une forte autocorrélation des données ; il faudrait disposer de chroniques beaucoup plus longues, supérieures à 100 ans.

Les tendances significatives à la baisse des niveaux concernent essentiellement la nappe de la plaine alluviale d'Alsace, la nappe plio-quadernaire du Roussillon, certaines nappes des Calcaires du Jurassique et la nappe de la craie en Champagne et Bourgogne.

Les piézomètres avec hausse significative des niveaux se répartissent pour la plupart sur les nappes de la Craie dans le bassin Artois-Picardie (quelques-uns dans le bassin Seine-Normandie), la nappe de la plaine alluviale d'Alsace et 4 nappes dans des formations calcaires (2 dans le bassin Seine-Normandie et 2 dans le bassin Loire-Bretagne). On note que la nappe alluviale d'Alsace montre à la fois des tendances à la baisse et à la hausse.

La deuxième année du projet a vu la finalisation des tests statistiques de détection de tendance, une comparaison des tendances observées sur les données piézométriques et sur les données climatiques (précipitations, température, évapo-transpiration potentielle), la prise en compte des résultats du projet Explore 2070 sur l'évolution de la recharge et la définition de

zones homogènes en terme de suivi du changement climatique pour l'implantation d'un réseau piézométrique dédié.

Les tests de détection de tendance ont été réalisés sur 377 piézomètres pour lesquels on disposait d'une chronique d'au moins 25 ans. Au final, 70 présentent une tendance significative, dont 44 à la baisse et 26 à la hausse. Les piézomètres montrant une tendance significative concernent pour la plupart les nappes à cycle annuel prédominant. Une esquisse de structuration spatiale des tendances a été identifiée, avec une hausse des niveaux concernant les masses d'eau de la craie du bassin Artois-Picardie et du centre du bassin Seine-Normandie et une baisse des niveaux pour les nappes de la craie et des calcaires du Jurassique de l'Est du bassin Seine-Normandie. Les tendances à la hausse ou la baisse peuvent dans certains cas être influencés par des prélèvements à proximité du pompage sans pour autant que l'on puisse le démontrer. Les années de ruptures (changement de comportement) correspondent à des années dont les hauteurs d'eau sont nettement supérieures ou inférieures à la moyenne ou qui suivent ou précèdent ces épisodes. Enfin, un outil de modélisation globale (GARDENIA © brgm) a été utilisé pour tester la sensibilité du niveau piézométrique aux variations d'évapotranspiration potentielle (ETP) observée. Les résultats montrent que ces variations ont un impact assez faible sur le niveau piézométrique, notamment par rapport aux incertitudes du calage.

Les tendances observées ont été comparées aux projections du changement climatique réalisées dans le cadre du projet Explore 2070 (période 2046-2065). L'examen des évolutions futures de la recharge indique, pour la valeur moyenne, une baisse quasi générale de la recharge comprise entre 10 et 25% avec globalement deux zones plus sévèrement touchées : le bassin de la Loire avec une baisse, sur la moitié de la superficie de son bassin versant, comprise entre 25 et 30% et surtout, le Sud-Ouest avec des baisses comprises entre 30 et 50%. Les zones de tendances à la hausse observée actuellement ne se retrouvent pas dans les scénarios testés.

Au final, il ressort qu'on ne peut actuellement pas mettre en évidence un impact d'une tendance climatique significative sur le niveau des nappes.

Le travail effectué en troisième et dernière année du projet comportait deux volets :

- l'un est consacré à la définition du réseau piézométrique, pour le suivi long terme du changement climatique ;
- l'autre, à caractère exploratoire, décrit une démarche pouvant aboutir à un index piézométrique standardisé, applicable aux nappes libres, analogue à l'index standardisé des précipitations (SPI, "*Standardized Piézometric Index*"), défini il y a 20 ans par Mc Kee et al. (1993), très utilisé aux Etats-Unis comme indicateur de sécheresse.

La définition du réseau piézométrique dédié au changement climatique a été basée sur une analyse multi-critères combinant des paramètres susceptibles de caractériser le changement climatique et des paramètres hydrogéologiques. Différentes approches ont été envisagées à la fois pour les paramètres climatiques (zones climatiques, hydro-écorégions, zones vulnérables vis-à-vis du changement climatique, évolution de la recharge des nappes dans le futur) et pour les paramètres hydrogéologiques.

Les travaux précédents réalisés dans le cadre de ce projet n'ont pas montré de tendances nettes de l'évolution des niveaux de nappes d'eau souterraines sur les 30 dernières années en relation avec une évolution du climat. De même, les découpages de type zonage climatique actuel ou zones vulnérables définies à partir de critères tels que la capacité d'infiltration, l'épaisseur de la zone non-saturée et la recharge actuelle ne nous ont pas paru adaptés à notre

problématique. Nous avons finalement opté pour des critères d'évolution de l'infiltration des nappes dans le futur à partir des modèles de simulation climatique existants, sachant que ces approches ont été mises en œuvre dans le cadre du projet Explore 2070. Les résultats de ce projet ne permettant pas d'obtenir une grille à l'échelle de la France d'évolution de la recharge entre la période de référence « temps présent » (1961-1991) et la période « temps futur » (2046-2065), nous avons généré une grille d'écart des pluies efficaces entre ces deux périodes. La pluie efficace a été calculée par différence entre les précipitations et l'évapotranspiration réelle à partir des données fournies par Météo-France dans le cadre du projet Explore 2070. Pour l'affectation des valeurs à des entités hydrogéologiques, il apparaissait normal d'utiliser le référentiel existant, à savoir BDLISA, le nouveau référentiel des systèmes aquifères français. Il s'est avéré que le traitement automatique sous SIG d'entités hydrogéologiques pertinentes pour un réseau de suivi du changement climatique à partir de ce référentiel a été impossible en raison de son mode de structuration, et c'est finalement le découpage des masses d'eau souterraines de niveau 1 qui est apparu le plus pertinent pour un traitement à l'échelle nationale.

En combinant l'écart des pluies efficaces entre « temps futur » et « temps présent » et le découpage des masses d'eau souterraines de niveau 1, nous avons finalement retenu 237 entités considérées comme sensibles au changement climatique.

La seconde partie du travail a consisté à sélectionner à l'intérieur de chacune de ces entités un piézomètre susceptible de faire partie du réseau. Ces piézomètres ont été sélectionnés sur la base des plusieurs critères : durée de la chronique, faible influence par des prélèvements d'eau, pérennité de l'ouvrage, appartenance à un réseau de suivi de la sécheresse, Le critère de durée de la chronique a été utilisé pour classer le piézomètre en terme de priorité. Au final 105 ouvrages ont été présélectionnés avec 4 niveaux de priorité. Pour les entités considérées comme sensibles au changement climatique et pour lesquelles il n'a pas été possible de présélectionner un ouvrage, différentes approches ont été proposées.

A l'issue de ces travaux, il apparaît que le critère de sensibilité au changement climatique est peu pertinent car présentant de fortes incertitudes et il est préférable de ne prendre en compte que des critères hydrogéologiques.

Pour la définition d'un index piézométrique standardisé, les principes de calcul du SPI (index standardisé pour les précipitations) ont été retenus. Ces principes ont été étendus par Météo-France à l'humidité des sols pour définir aussi un index standardisé, le SSWI (*Standardized, Soil Wetness Index*). Dans ce deuxième volet du rapport, on rappelle le mode de calcul du SPI et du SSWI et l'on décrit les étapes du calcul de l'index piézométrique standardisé (SPLI, *Standardized Piezometric Level Index*), en adoptant aussi les principes à l'origine du SPI, mais avec des modalités de calcul différentes, compte tenu de la variété de comportements des nappes libres.

Comme le SPI et le SSWI, le SPLI varie entre -3 (forte sécheresse) et +3 (forte pluviométrie) et permettrait de ce fait de caractériser de façon homogène sur tout le territoire national l'état piézométrique des nappes libres, de suivre l'évolution dans le temps de cet état et de quantifier l'intensité des impacts climatiques subis par ces nappes. Le SPLI pourrait ainsi jouer le rôle d'un indicateur d'état des nappes.

Néanmoins, à ce stade de la recherche il reste de nombreux points à discuter : pertinence de l'index, échelle d'agrégation, mode de représentation, exploitation en association avec d'autres indicateurs, ...