



FINANCEUR :



COMMUNAUTE DE COMMUNES DU PAYS ROCHOIS

SERVICE EAU ET ASSAINISSEMENT



Le Pays Rochois
COMMUNAUTÉ DE COMMUNES

ACTUALISATION DU MODELE HYDRODYNAMIQUE NUMERIQUE DE LA NAPPE DU CONE DE DEJECTION DU BORNE.

NOVEMBRE 2024.

Hydro-Terre

www.hydroterre.fr

Philippe ROUSSET
06 60 73 50 22
philippe.rousset@hydroterre.fr

Alban FALCONNET
07 83 20 42 45
alban.falconnet@hydroterre.fr

SAS Hydro-Terre BE au capital de 5000
212 chemin de Clavières 74330 Poisy
SIREN 809133689 RCS Annecy



Résumé – Conclusions.

Le Service Eau Assainissement de la Communauté de Communes du Pays Rochois dispose d'un modèle numérique reconstituant l'évolution du niveau piézométrique de la nappe du Cône de déjection du Borne ; modèle réalisé en 2005, par la Régie Départementale d'Assistance.

Ce modèle repose sur les observations faites sur 17 piézomètres interceptant l'aquifère et le suivi automatisé (une mesure par heure) de l'évolution piézométrique entre 1996 et 2005.

Depuis 2005, la Communauté de Communes du Pays Rochois et les structures antérieures chargées de la compétence "alimentation en eau potable" ont poursuivi le suivi de l'évolution piézométrique de cette nappe.

Ce rapport présente :

- une mise à jour du modèle réalisé en 2005, sur la base des valeurs enregistrées entre 2005 et 2022 en sélectionnant, dans la chronique des valeurs collectées, des épisodes d'étiage et de crue plus sévères que ceux observés dans la chronique 1996 – 2005 ;
- sur la base de cette mise à jour :
 - une approche du volume annuel transitant dans l'aquifère au cours de l'année la plus sèche relevée depuis 2005, correspondant à une fréquence de récurrence de 1 année / 20 environ ;
 - une approche des volumes transitant dans l'aquifère correspondant à cette année, et l'analyse de la dynamique et de la géométrie des écoulements résultants ;
 - une analyse de l'incidence de cette situation sur les ouvrages de prélèvements, pour les prélèvements projetés futurs ;
 - une approche de la conséquence du changement climatique sur la ressource mobilisable ;
 - des orientations d'étude permettant d'affiner la connaissance du fonctionnement de l'aquifère, des recommandations permettant d'assurer la pérennité de la qualité des eaux, des travaux permettant d'assurer les prélèvements futurs projetés.

La nappe du cône de déjection du Borne est une nappe alluviale libre, contenue dans les alluvions déposées par le Borne ; alluvions principalement constituées de sables, graviers et galets parfois grossiers, sédimentées à la fin du Würm dans un lac progressivement comblé qui occupait la vallée actuelle de l'Arve.

L'évolution du niveau piézométrique de l'aquifère est suivie depuis 1996 jusqu'à ce jour, au droit de 17 ouvrages, au pas de temps horaire. Ces mesures permettent une bonne connaissance du fonctionnement hydrodynamique de l'aquifère.

Deux cycles hydrologiques sont, dans cette chronique, représentatifs du comportement de l'aquifère sous l'influence de contextes météorologiques contrastés : le cycle hydrologique 01/12/2016 – 30/11/2017 et le cycle 01/12/2017 – 30/11/2018.

La modélisation du comportement de l'aquifère au cours de ces deux cycles hydrologiques permet une approche quantitative des flux parcourant l'aquifère en période de hautes et basses eaux.

Les flux annuels déduits de cette modélisation sont compris en période de basses eaux entre 16 et 18 millions de m³ par an ; les flux journaliers en période de basses eaux proches de 40 000 m³/jour.

Les volumes annuels prélevés actuellement pour l'alimentation en eau potable représentent 15% environ du flux annuel transitant dans l'aquifère et le volume journalier prélevé en période d'étiage 14% du flux quotidien.

Les volumes annuels futurs projetés pour l'alimentation en eau potable représentent 25% environ des volumes annuels écoulés par l'aquifère lors du cycle hydrologique le plus sévère observé depuis 2003.

Les volumes journaliers moyens futurs prélevés représentent 28%, les volumes de pointe 42% des volumes journaliers transitant dans l'aquifère à la fin des périodes d'étiage les plus longues relevées depuis 2003.

Les conséquences du changement climatique se traduiront par une augmentation de la durée des périodes de tarissement de la ressource pour un cumul de précipitations sensiblement identique à la période actuelle ; augmentation pouvant atteindre 2 à 3 mois supplémentaires. Une extrapolation des valeurs du flux transitant dans l'aquifère, calculé par le modèle, indique que les prélèvements journaliers moyens projetés pour l'alimentation future en eau potable représenteraient 36% du total des volumes journaliers s'écoulant dans l'aquifère et le débit de pointe 53% de ces mêmes volumes.

Les propositions du schéma directeur reposant sur l'augmentation des prélèvements dans la nappe du cône de déjection du Borne pour assurer l'alimentation en eau potable dans les 20 prochaines années apparaissent cohérentes avec les flux transitant dans l'aquifère calculé par le modèle. Il n'est cependant pas certain que les ouvrages actuels soient en capacité d'intercepter les débits instantanés souhaités, pour des raisons techniques et administratives. Des pompages d'essai de puits devront être réalisés sur le forage de Passeirier et un nouvel ouvrage devra être réalisé pour conforter les prélèvements effectués dans le secteur de Bajolet. Les autorisations de prélèvements supplémentaires devront être acquises pour ces deux ouvrages.

Le modèle proposé utilise comme conditions aux limites des conditions de potentiel. L'utilisation unique de limites de potentiel sur le pourtour d'un aquifère modélisé peut cependant être source d'erreur, puisque source d'alimentation ou de drainage potentiellement infinie.

La précision du calage du modèle proposé repose sur la cohérence entre les valeurs calculées par le modèle en entrée et en sortie de l'aquifère et les valeurs de mesures ponctuelles de débits en entrée mesurées sur le Borne et en sortie sur le Brachouet. La cohérence des valeurs autorisent à considérer les valeurs issues du modèle comme représentatives d'ordre de grandeur. Si une précision supplémentaire doit être recherchée :

- des mesures plus poussées et plus nombreuses (voire en continu) du débit du Brachouet devront être mises en œuvre ;
- les relations entre le Borne et l'aquifère devront être précisées par des mesures de débit plus poussées et plus nombreuses entre le débouché de la rivière dans la plaine et sa confluence avec l'Arve ou par la mise en place de piézomètres peu profonds de part et d'autre du lit de la rivière.

Les lignes de flux ou de courant au sein de l'aquifère, illustrées par le modèle, permettent d'apprécier les aires d'alimentation des ouvrages utilisés pour l'alimentation en eau potable. Ces aires sont comprises en partie dans les périmètres de protection rapprochée de ces ouvrages et en partie ou en totalité dans les périmètres de protection éloignée. La nappe contenue dans le cône de déjection du Borne est une nappe stratégique pour l'alimentation en eau potable de la population actuelle et future de la basse vallée de l'Arve. A ce titre la collectivité doit tout mettre en œuvre pour garantir la pérennité de la qualité des eaux mobilisées par les ouvrages de production actuel et futurs.

La pression foncière liée à l'urbanisation dans la plaine est importante. Pour garantir la qualité chimique des eaux vis-à-vis des contaminations liées à l'usage des pesticides, de leurs métabolites et des molécules chimiques indestructibles s'accumulant dans le milieu naturel, la collectivité aurait tout intérêt à :

- définir les zones de sauvegarde permettant de garantir la qualité des eaux des ouvrages exploités et les zones à protéger pour permettre aux générations futures l'implantation de nouveaux points de prélèvements ;
- intégrer dans les SCOT, PLU, PLUI, arrêtés préfectoraux, selon les recommandations du guide technique du SDAGE "Identifier et préserver les ressources stratégiques pour

l'alimentation en eau potable", les règles à respecter dans ces zones pour garantir la disponibilité pérenne d'une eau naturellement potable.

La Communauté de Communes dispose d'un outil permettant une mise en œuvre rationnelle de ces mesures de protection.

Pour rappel :

Il est à ce jour constaté que les périmètres de protection, bien que le niveau d'encadrement réglementaire soit élevé, ne permettent pas de prémunir la ressource contre les pollutions diffuses.

Les bénéfices attendus de ces périmètres "peuvent être remis en cause du fait des évolutions constatées ou prévisibles, des pressions de pollution dues aux activités humaines à court ou moyen terme sur l'aire d'alimentation du captage : extension urbaine, création de zones d'activités, infrastructures de transports, développement de modes d'exploitation agricole générant des flux d'intrants de synthèse significatifs dans les ressources en eau. Ces situations constatées au voisinage de captages actuels ont déjà conduit par le passé à l'abandon de certains d'entre eux, parfois d'importance.... L'enjeu est donc de préserver de la manière la plus efficace possible les ressources en eau les plus intéressantes et les potentialités d'implantation de captages pour la satisfaction des besoins économiques et de l'aménagement du territoire. Il s'agit donc de concilier les enjeux d'aménagements du territoire, de protection des captages actuels les plus importants et structurants et d'implantation de futurs nouveaux captages considérant de plus que l'eau est également une des clés du développement territorial." (Guide technique du SDAGE - Identifier et préserver les ressources stratégiques pour l'alimentation en eau potable- Agence de l'Eau. Bassin Rhône Méditerranée Corse. Juin 2021).

Alban Falconnet
Ph. Rousset
Novembre 2024.



Sommaire

1.	Préambule.....	8
2.	Contexte hydrogéologique de l'aquifère du cône de déjection du Borne.....	8
2.1.	Géométrie du réservoir.....	9
2.1.	Typologie de l'écoulement et du système.....	11
2.2.	Paramètres structuraux. Champ des transmissivités et coefficients d'emmagasinement.	11
2.3.	Conditions aux limites de l'aquifère.	13
2.3.1.	Le Foron.....	14
2.3.2.	Le Brachouet.....	15
2.3.3.	Le Borne.....	16
2.3.4.	Les limites Sud et Est.....	16
2.4.	Conditions internes.....	17
3.	Mise à jour du modèle sur la base des mesures effectuées entre 2005 et 2022.	18
3.1.	Rappels.	18
3.2.	Choix des épisodes hydrologiques représentatifs des périodes d'étiage entre 2005 et 2022.....	18
3.3.	Modélisation du comportement de l'aquifère au cours des années 2017 – 2018.- 2019.	21
3.3.1.	Qualité de l'ajustement du modèle aux valeurs observées. Rappels.	21
3.3.2.	Ajustement des valeurs calculées aux valeurs observées au droit des piézomètres.....	21
3.3.3.	Cohérence entre les écoulements transitant dans l'aquifère, les volumes potentiellement infiltrés dans l'aquifère et écoulés par les émergences naturelles de la nappe.	22
4.	Caractérisation des écoulements en période de basses eaux. Le 08/12/2017.	25
4.1.	Configuration des écoulements.	25
4.2.	Gradient et vitesse.....	26
4.3.	Bilan des écoulements.	27
5.	Caractérisation des écoulements en période de hautes eaux. Le 10/04/2018.....	28
5.1.	Configuration des écoulements.	28
5.2.	Gradient et vitesses.....	28
5.3.	Bilan des écoulements.	30
6.	Différences observées entre les périodes de hautes et basses eaux.	31
6.1.	Configuration des écoulements.	31
6.2.	Gradient et vitesse.....	31
6.3.	Bilan des écoulements.	33
7.	Analyse du flux transitant dans l'aquifère au cours d'un cycle hydrologique.....	33
7.1.	Flux transitant dans l'aquifère à l'échelle annuelle.....	33
7.2.	Flux transitant dans l'aquifère à l'échelle mensuelle.....	35
8.	Influence des prélèvements futurs.....	36
9.	Conséquences possibles du changement climatique.	39
10.	Propositions et suggestions.	40

11.	Annexes. Calage du Modèle.	42
11.1.	Forage de l'Autoroute.	42
11.2.	Piézomètre de Bornette.	43
11.3.	Piézomètre des Grands Champs.	44
11.4.	Piézomètre des Laquets.	45
11.5.	Piézomètre de Passeirier.	46
11.6.	Piézomètre de Ravure Sud.	47



Listes des figures.

Figure 2-1.	Esquisse du contexte paléogéographique. D'après Sylvain Coutterand.	9
Figure 2-2	Extension et profondeur du mur de l'aquifère. Plages et ligne isobathes. Fond Orthophoto.	10
Figure 2-3.	Altitude du mur de l'aquifère. Plages et lignes isohypses. Fond orthophoto.	10
Figure 2-4	Champs de conductivité issue du calage du modèle. Fond Orthophoto.	12
Figure 2-5	Champs des coefficients d'emmagasinement issus du calage du modèle. Fond Orthophoto.	13
Figure 2-6	Nature et positions prises en compte dans le modèle. Fond Orthophoto.	14
Figure 2-7	Principaux paramètres statistiques décrivant les prélèvements journaliers regroupés par mois, effectués entre 2003 et 2022, par les quatre ouvrages utilisés pour l'AEP.	18
Figure 3-1.	Evolution du niveau piézométrique du forage de l'autoroute entre le 01/01/1995 et le 31/12/2022. Visualisation des périodes d'étiage.	20
Figure 3-2.	Distribution des résidus entre les valeurs observées et les valeurs calculées sur les 6 piézomètres de référence et évaluation de l'incertitude à laquelle les valeurs sont calculées.	22
Figure 3-3	Bilan des écoulements au 08/12/2017.	23
Figure 3-4	Bilan des écoulements au 02/12/2018.	24
Figure 4-1	Caractérisation des écoulements en période de basses eaux. Le 08/12/2017.	25
Figure 4-2	Caractérisation des écoulements en période de basses eaux. Le 08/12/2017. Gradient.	26
Figure 4-3	Caractérisation des écoulements en période de basses eaux. Le 08/12/2017. Vitesse.	27
Figure 5-1	Caractérisation des écoulements en période de hautes eaux. Le 10/04/2018. Surface piézométrique.	28
Figure 5-2	Caractérisation des écoulements en période de hautes eaux. Le 10/04/2018. Gradient.	29
Figure 5-3	Caractérisation des écoulements en période de hautes eaux. Le 10/04/2018. Vitesse.	29
Figure 5-4	Période de hautes eaux. Bilan des écoulements au 10/04/2018.	30
Figure 6-1	Différence d'altitude du niveau piézométrique entre les périodes de hautes et basses eaux.	31
Figure 6-2	Différence entre les gradients de hautes et basses eaux.	32
Figure 6-3	Différence entre les vitesses observées en périodes de hautes et basses eaux.	32
Figure 7-1	Bilan journalier des écoulements au sein de l'aquifère au cours du cycle hydrologique 01/12/2016-30/11/2017. Volumes calculés par le modèle.	35
Figure 7-2	Bilan journalier des écoulements au sein de l'aquifère au cours du cycle hydrologique 01/12/2017-30/11/2018. Volumes calculés par le modèle.	35
Figure 7-3	Principaux paramètres statistiques décrivant les volumes journaliers mobilisables, groupés par mois, aux cours des cycles hydrologiques 01/12/2016-30/11/2017 et 01/12/2017-30/11/2018.	36

Figure 8-1	Caractérisation des écoulements en période de basses eaux, en régime permanent correspondant à celui observé le 08/12/2017, pour un prélèvement correspondant au débit journalier moyen futur (11 584m ³ /j).....	38
Figure 8-2	Caractérisation des écoulements en période de basses eaux, en régime permanent correspondant à celui observé le 08/12/2017, pour un prélèvement correspondant au débit journalier de pointe futur (16 810 m ³ /j).....	38
Figure 9-1	Débit d'alimentation de l'aquifère après une période de tarissement de 170 jours environ (+ 90 jours / la durée de la période de tarissement observée au cours du cycle hydrologique 01/12/2016 – 30/11/2017. Extrapolation.	39
Figure 9-2	Débit d'alimentation de l'aquifère après une période de tarissement de 240 jours environ (+ 30 jours / la durée de la période de tarissement observée au cours du cycle hydrologique 01/12/2017 – 30/11/2018. Extrapolation.	40
Figure 11-1.	Forage de l'Autoroute.	42
Figure 11-2.	Forage de Bornette.	43
Figure 11-3.	Piézomètre des Grands Champs.	44
Figure 11-4.	Piézomètre des Laquets.	45
Figure 11-5.	Piézomètre de Passeirier.	46
Figure 11-6.	Piézomètre de Ravure Sud.	47



Liste des tableaux.

Tableau 2-1.	Principaux paramètres statistiques décrivant les prélèvements journaliers regroupés par années, effectués entre 2003 et 2022, par les quatre ouvrages utilisés pour l'AEP.	17
Tableau 3-1.	Matrice de corrélation de l'évolution du niveau piézométrique au droit de chaque ouvrage interceptant l'aquifère.....	19
Tableau 3-2.	Principaux paramètres statistiques décrivant la valeur des résidus entre les valeurs observées et les valeurs calculées par le modèle.....	22
Tableau 3-3.	Bilan des écoulements dans l'aquifère le 08/12/2017. Période d'étiage sévère.....	23
Tableau 3-4.	Bilan des écoulements dans l'aquifère le 02/12/2018. Période d'étiage sévère.....	24
Tableau 4-1.	Bilan des écoulements dans l'aquifère le 08/12/2017. Période d'étiage sévère.....	27
Tableau 5-1.	Bilan des écoulements dans l'aquifère le 10/04/2018. Période de hautes eaux.	30
Tableau 6-1.	Bilan des écoulements entre une période de hautes eaux et une période de basses eaux.	33
Tableau 7-1	Bilan des cycles hydrologiques 01/12/2016 - 30/11/2017 et 01/12/2017 et 30/11/2018.	34
Tableau 7-2.	Principaux paramètres statistiques décrivant les valeurs des débits mensuels mobilisables au cours du cycle hydrologique 01/12/2016-30/11/2017.	35
Tableau 7-3.	Principaux paramètres statistiques décrivant les valeurs des débits mensuels mobilisables au cours du cycle hydrologique 01/12/2017-30/11/2018.	36
Tableau 8-1.	Tableau des volumes de prélèvements projetés pour l'alimentation en eau potable future.	37



COMMUNAUTE DE COMMUNES DU PAYS ROCHOIS.

ACTUALISATION DU MODELE HYDRODYNAMIQUE NUMERIQUE DE LA NAPPE DU CONE DE DEJECTION DU BORNE.

1. PREAMBULE.

Le Service Eau Assainissement de la Communauté de Communes du Pays Rochois dispose d'un modèle numérique reconstituant l'évolution du niveau piézométrique de la nappe du Cône de déjection du Borne ; modèle réalisé en 2005, par la Régie Départementale d'Assistance.

Ce modèle repose sur les observations faites sur 17 piézomètres interceptant l'aquifère et le suivi automatisé (une mesure par heure) de l'évolution piézométrique réalisée entre 1996 et 2005.

Depuis 2005, la Communauté de Communes du Pays Rochois et les structures antérieures chargées de la compétence "alimentation en eau potable" ont poursuivi le suivi de l'évolution piézométrique de cette nappe.

Ce rapport présente

- une mise à jour du modèle réalisé en 2005, sur la base des valeurs enregistrées entre 2005 et 2022 en sélectionnant, dans la chronique des valeurs collectées, des épisodes d'étiage et de crue plus sévères que ceux observés dans la chronique 1996 – 2005 ;
- sur la base de cette mise à jour :
 - une approche du volume annuel mobilisable au cours de l'année la plus sèche relevée depuis 1996, correspondant à une fréquence de récurrence de 1 année / 20 environ ;
 - une approche des volumes mensuels mobilisables correspondants à cette année, et l'analyse de la dynamique et de la géométrie des écoulements résultants ;
 - une analyse de l'incidence de cette situation sur les ouvrages de prélèvements, pour les prélèvements projetés futurs ;
 - une approche de la conséquence du changement climatique sur la ressource mobilisable ;
 - des propositions de travaux pour optimiser une exploitation durable de la ressource en eau disponible.

2. CONTEXTE HYDROGEOLOGIQUE DE L'AQUIFERE DU CONE DE DEJECTION DU BORNE.

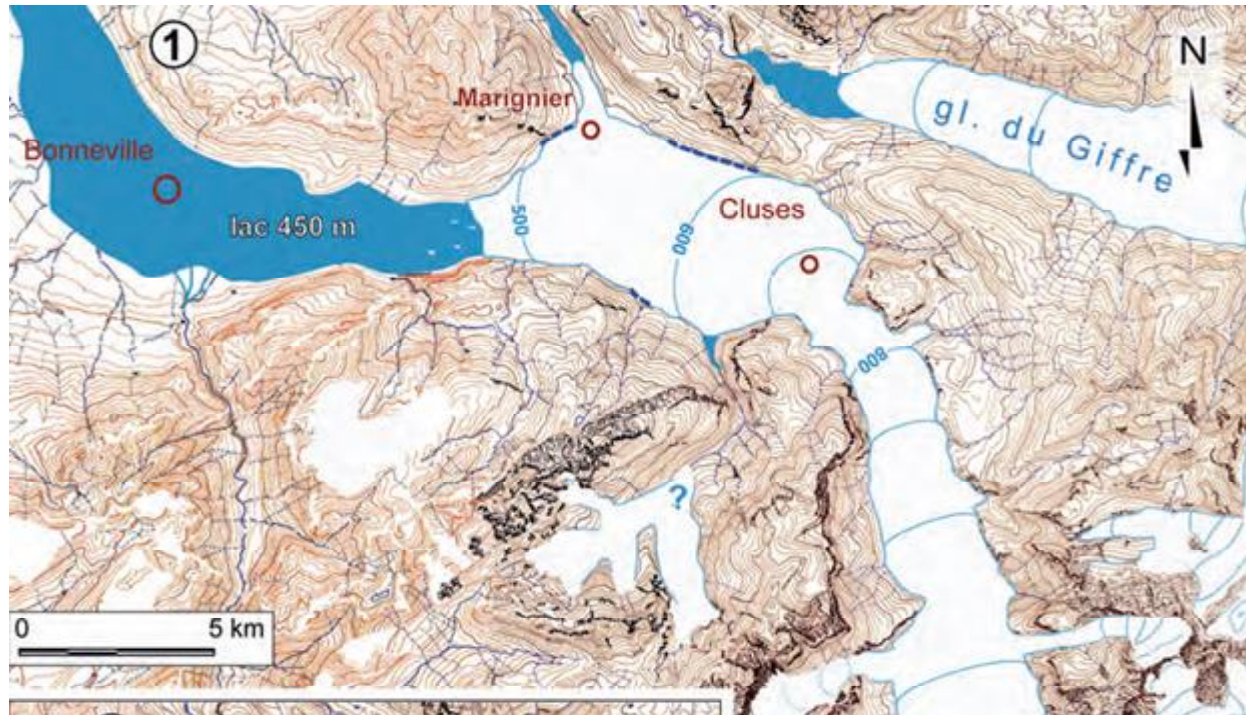
Le contexte hydrogéologique du l'aquifère du cône de déjection du Borne est décrit dans le détail dans le rapport "Modélisation numérique des écoulements souterrains de la nappe du cône de déjection du Borne. Document de synthèse. Septembre 2 006. Syre. Régie Départementale d'Assistance".

Les paragraphes suivants présentent en résumé les caractéristiques principales.

2.1. GEOMETRIE DU RESERVOIR.

Les terrains aquifères sont principalement constitués de sables, graviers et galets parfois grossiers, provenant des apports du Borne et sédimentés à la fin du würm dans un lac progressivement comblé, occupant la vallée actuelle de l'Arve (Figure 2-1, page 9).

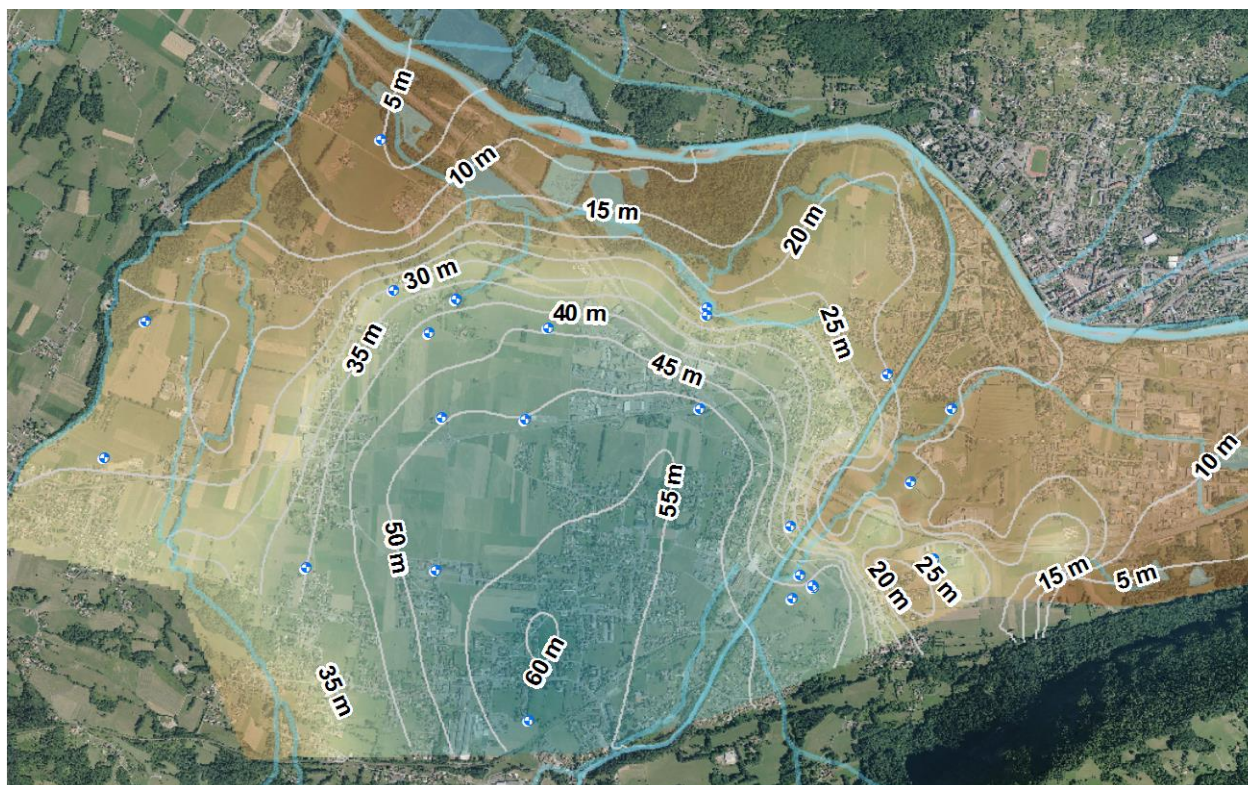
Communauté de communes du Pays Rochois. Mise à jour du modèle numérique de nappe du Cône de déjection du Borne.
Figure 2-1. Esquisse du contexte paléogéographique. D'après Sylvain Coutterand.



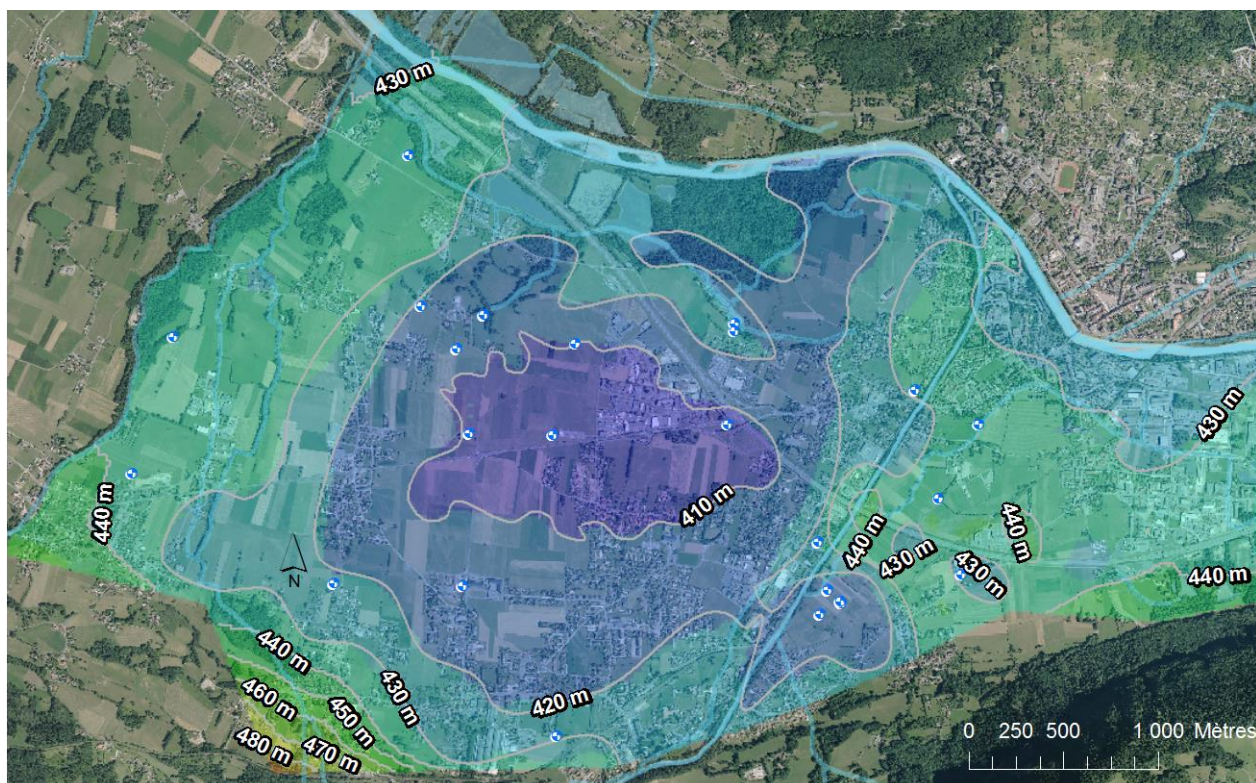
Le mur de l'aquifère est constitué principalement par des sables fins à très fins, argileux gris noirs, saturés en eau, mais peu transmissifs. L'épaisseur maximale observée est proche de 60 mètres, au droit du chef-lieu de Saint Pierre en Faucigny, au sud du domaine d'étude. L'épaisseur diminue progressivement en direction du nord pour atteindre une dizaine de mètres en bordure de l'Arve. Cette profonde dépression s'étend également vers le nord-ouest jusqu'au secteur de Passeirier.

La Figure 2-2 et la Figure 2-3, page 10, présentent l'altitude du mur à dominante argilo-sableuse et sa profondeur par rapport au terrain naturel. Cette surface synthétise les données recueillies par les coupes géologiques des forages disponibles ainsi que l'ensemble des campagnes de mesures géophysiques réalisées. Les sondages électriques sont interprétés et confrontés aux coupes géologiques afin d'obtenir la surface considérée comme la meilleure représentation du mur de l'aquifère.

Communauté de communes du Pays Rochois. Mise à jour du modèle numérique de nappe du Cône de déjection du Borne.
Figure 2-2 Extension et profondeur du mur de l'aquifère. Plages et ligne isobathes. Fond Orthophoto.



Communauté de communes du Pays Rochois. Mise à jour du modèle numérique de nappe du Cône de déjection du Borne.
Figure 2-3. Altitude du mur de l'aquifère. Plages et lignes isohypses. Fond orthophoto.



2.1. TYPOLOGIE DE L'ÉCOULEMENT ET DU SYSTÈME.

L'écoulement dans l'aquifère est à surface libre et bidimensionnel sur l'ensemble du domaine d'étude avec les particularités suivantes :

- le caractère de nappe libre est valable sur l'ensemble du domaine hormis dans l'extrême ouest (secteur des Inchires). Dans cette zone, la nappe devient captive en période de hautes eaux, du fait des formations argileuses imperméables présentes au sommet de la coupe géologique. En période de crue, le piézomètre des Inchires peut même devenir artésien. Étant donnée la faible extension où la nappe est captive, l'aquifère est considéré comme contenant une nappe libre sur l'ensemble de son domaine ;
- l'écoulement global se fait du sud vers le nord, les lignes piézométriques globalement parallèles à l'Arve suivent plus ou moins le relief du terrain naturel. Le gradient moyen est de l'ordre de 0,8% ;
- l'alimentation principale provient du sud et des infiltrations du Borne à l'amont de la nappe, à la sortie des gorges de Rumilly. Le Foron ainsi que des terrains moins perméables maintiennent également des niveaux piézométriques élevés au sud-ouest du domaine, mais assurent une alimentation moindre. Les infiltrations des versants de Saint-Laurent et d'Andey alimentent également de façon secondaire le système au sud ;
- en lien avec cette alimentation principale, se dessine une crête piézométrique en rive gauche du Borne et qui lui est presque parallèle. Elle prend naissance à Saint-Pierre, se prolonge vers le forage de l'autoroute et prend fin dans le secteur du Moulin de Bajolet, lieu d'importantes émergences naturelles et lieu où le Brachouet prend sa source ;
- un axe drainant de direction sud-nord passe par le secteur du puits de Passeirier. Il est principalement lié aux prélèvements effectués sur ce puits pour l'alimentation en eau potable ;
- au Nord-Est du Borne les lignes piézométriques sont quasiment parallèles à l'Arve et signifient que l'écoulement est uniforme et orienté vers l'Arve ;
- d'une façon globale, le puits de Passeirier et celui de Blandet sont alimentés par le sud et le sud-ouest : les secteurs des Grands Champs et du hameau de Passeirier qui sont dans l'axe drainant. Le puits de Bajolet est pour sa part alimenté principalement par la crête piézométrique soutenue par les infiltrations amont du Borne ;
- la bande de terrains comprise entre le Brachouet et l'Arve recoupe la nappe d'accompagnement de l'Arve. Influencée avant tout par la rivière et en lien plus ou moins étroit avec les plans d'eau du secteur, elle ne fait pas partie du système de l'aquifère du cône de déjection du Borne.

2.2. PARAMÈTRES STRUCTURAUX. CHAMP DES TRANSMISSIVITÉS ET COEFFICIENTS D'EMMAGASINEMENT.

Des pompages d'essai de nappe réalisés sur les puits de St-Pierre, de Passeirier, ainsi que sur les puits des Vorziers en 2003/2004, révèlent des valeurs de transmissivité relativement homogènes comprises entre 35.10^{-3} et 95.10^{-3} m²/s pour T (conductivité K comprise entre $0,9.10^{-3}$ et $2,7.10^{-3}$ m/s) et des valeurs de coefficient d'emménagement entre 2 et 11 %.

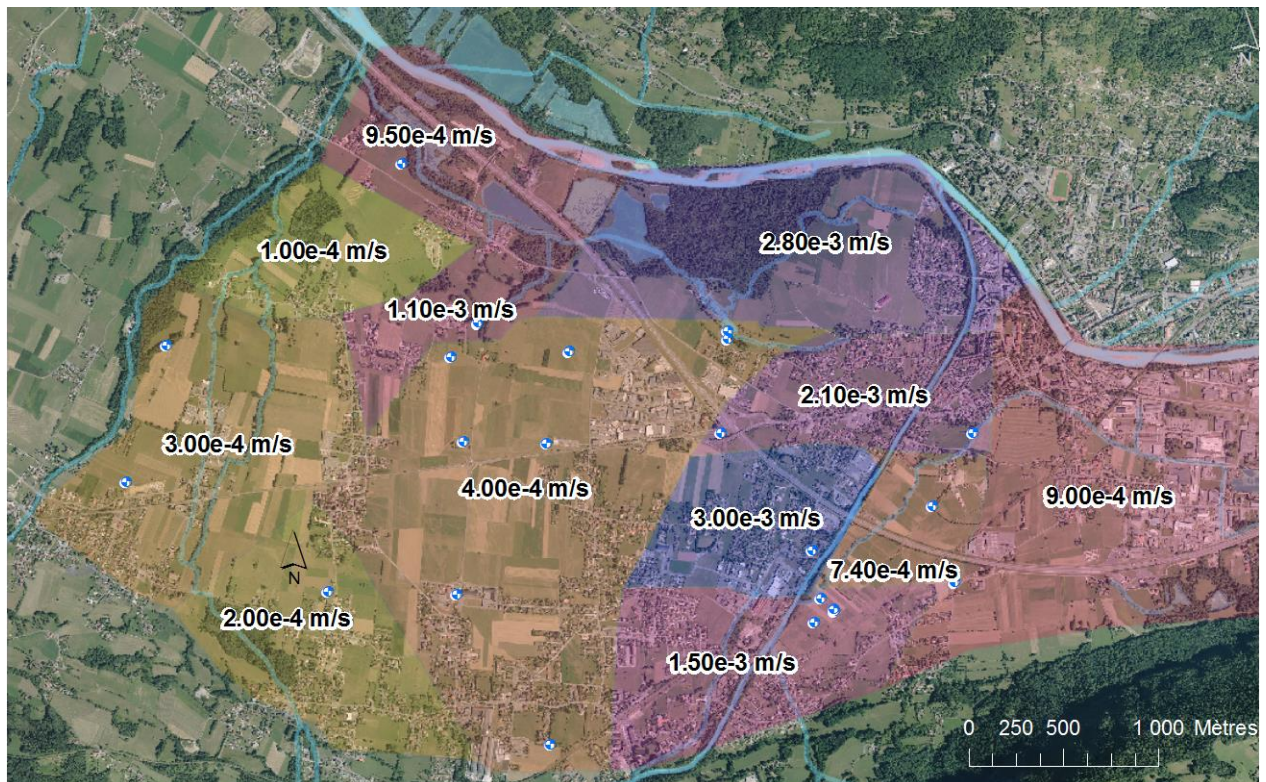
La phase de calage du modèle hydrodynamique permet ensuite d'affiner la répartition des valeurs de K et S sur le domaine considéré. Les cartes de répartition des paramètres obtenus sont présentées sur les Figure 2-4 et Figure 2-5 et présentent les particularités suivantes :

- conductivité la plus forte dans le sillon du cône de déjection du Borne (de l'ordre de 2.10^{-3} m/s) ;
- conductivité se réduisant vers l'ouest, zone intermédiaire des Laquets à Arenthon, K proche de 1.10^{-4} m/s ;
- valeurs de K faibles, entre $0,1.10^{-3}$ et $0,3.10^{-3}$ m/s, dans les zones Sud-Ouest et Ouest, où les formations sont fines ;

- la transmissivité T résultante atteint, d'après le modèle, des valeurs maximales proches de $120.10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ à l'aval du chef-lieu de St-Pierre ;
- les valeurs les plus faibles de T sont observées au sud-ouest et à l'ouest, autour de $5.10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$. Ces valeurs deviennent même inférieures à $1.10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ à l'aval du système, dans le secteur d'Arenthon, en raison de l'épaisseur faible de la tranche aquifère ;
- le coefficient S est le plus fort dans les zones graveleuses, où la porosité est la plus importante. Dans le sillon du cône de déjection du Borne et jusqu'au secteur de Passeirier, le calage du modèle donne des valeurs de S de 6,5 à 7,5 %.
- la zone ouest du domaine, en bordure du Foron, possède la porosité efficace la plus faible (formations constituées en majorité de sables fins). Le coefficient S y est faible : 2,5 %.

Communauté de communes du Pays Rochois. Mise à jour du modèle numérique de nappe du Cône de déjection du Borne.

Figure 2-4 Champs de conductivité issue du calage du modèle. Fond Orthophoto.



Communauté de communes du Pays Rochois. Mise à jour du modèle numérique de nappe du Cône de déjection du Borne.
Figure 2-5 Champs des coefficients d'emmagasinement issus du calage du modèle. Fond Orthophoto.



2.3. CONDITIONS AUX LIMITES DE L'AQUIFERE.

Pour qu'un modèle résolve les équations hydrodynamiques, il faut connaître les valeurs d'une variable sur les limites de la zone étudiée. Cette variable peut être soit le niveau piézométrique (il s'agira alors de conditions aux limites de potentiel), soit le débit qui transite par cette limite (il s'agira alors de conditions aux limites de flux).

Les mesures effectuées sur le réseau piézométrique depuis vingt-huit années permettent d'appréhender de façon robuste les variations de potentiel en entrée et en sortie de l'aquifère. Ces données, caractérisant la variation de potentiel en entrée et sortie seront donc utilisées comme les variables d'entrée dans le modèle.

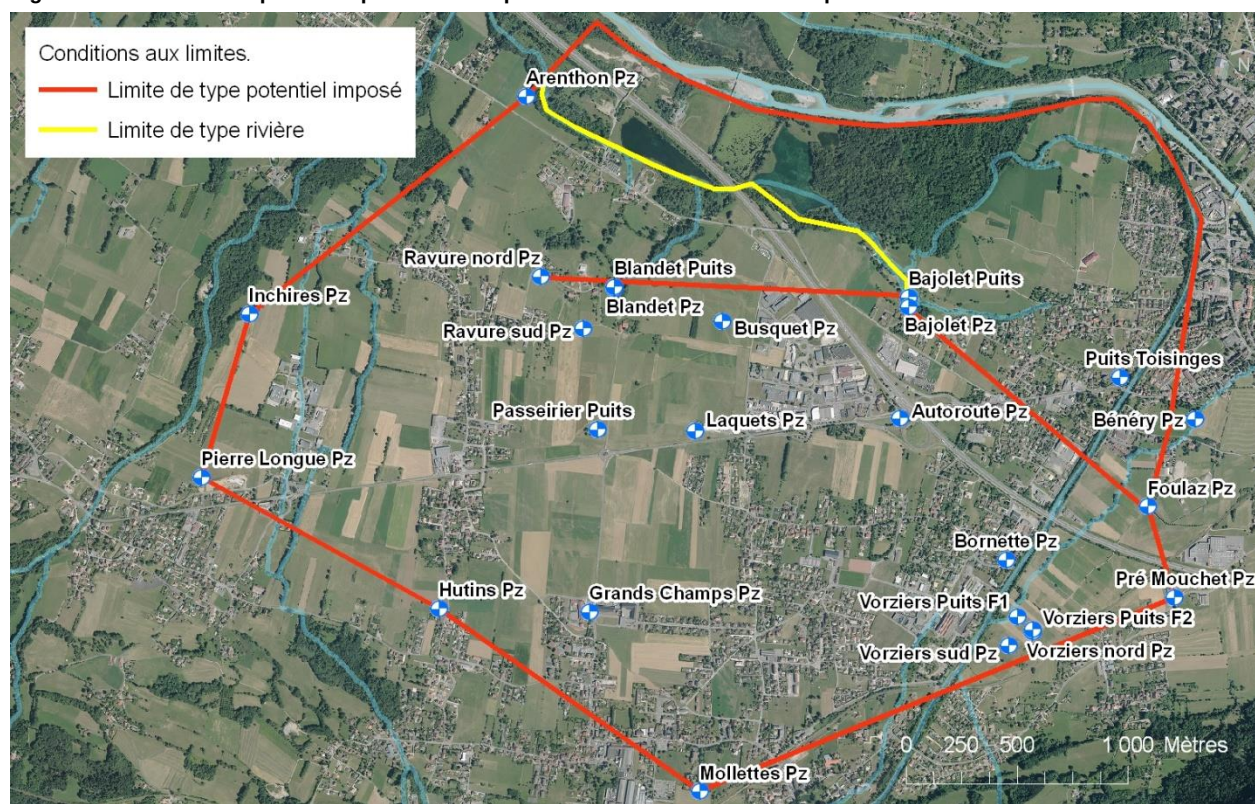
Ce potentiel est imposé et suit les variations observées dans les piézomètres sur la période considérée. La zone à l'intérieur du modèle est alors libre et permet d'ajuster les paramètres structuraux (champs des perméabilités et des porosités, valeurs des perméabilités et des porosités).

L'utilisation unique des limites de potentiel sur le pourtour d'un aquifère modélisé peut cependant être source d'erreur, puisque source d'alimentation ou de drainage potentiellement infinie. L'adéquation entre les valeurs des paramètres hydrodynamiques permettant le calage du modèle et les valeurs observées au cours des pompages d'essai et l'adéquation entre les flux en entrée et en sortie calculés par le modèle et les valeurs mesurées in situ permettent cependant un calage réaliste du modèle.

A ce jour, les données concernant les flux en entrée et en sortie du système ne sont connus que de façon ponctuelle. Le rapprochement entre les valeurs modélisées et les valeurs approchées ne peuvent se faire qu'à une date fixe, alors que l'aquifère a un rôle tampon vis-à-vis des fluctuations de surface. En conséquence, les valeurs résultant du calage actuel du modèle doivent être considérés comme des ordres de grandeur ; pour une gestion optimale de la ressource, des mesures complémentaires concernant les flux entrant (infiltration du Borne entre les Gorges de Rumilly et la confluence avec l'Arve) et le flux sortant (débit du ruisseau du Brachouet entre sa source à hauteur du Moulin de Bajolet et sa confluence avec le Foron) devront être mises en œuvre.

Bien que traitées comme limites de potentiel, la nature et le rôle hydrodynamique des limites de l'aquifère sont précisées dans les quatre paragraphes suivants et localisées sur la Figure 2-6, ci-dessous.

Communauté de communes du Pays Rochois. Mise à jour du modèle numérique de nappe du Cône de déjection du Borne.
Figure 2-6 Nature et positions prises en compte dans le modèle. Fond Orthophoto.



2.3.1. Le Foron

Le Foron constitue la limite ouest du domaine et coule dans le secteur le moins transmissif du domaine. Il impose le niveau d'eau sur cette limite ouest. Il l'impose de manière découplée sur sa partie amont (zone de Pierre-Longue et des Inchires), car il est « perché » par rapport au niveau de la nappe. A partir de l'aval du lieu-dit de Fernolet, en lien plus direct avec la nappe, il représente lui-même une limite de potentiel.

La condition pour cette limite de l'aquifère est donc une condition de potentiel. Elle est la mieux représentée par le niveau piézométrique des piézomètres de Pierre-Longue et des Inchires à l'amont, et par le niveau du Foron proprement dit sur sa partie aval.

Des mesures de débits ont été effectuées le long du lit du cours d'eau entre Bajolet et sa confluence avec le Foron en 2003 et 2020 :

Le FORON	Point de mesures	Point km	Débit en L/s	Débit en m3/j.
01/07/2003	A l'entrée de la plaine, au pont de Vozerier	KM 0,030	10.3	890
	Au pont de Fernolet	KM 1,850	9.5	821
	A l'amont de la confluence avec le Brachouet	KM 3,210	4.9	423
24/06/2020	A l'entrée de la plaine, au pont de Vozerier	KM 0,030	314	27 130
	Au pont de Fernolet	KM 1,850	284	24 540
	A l'amont de la confluence avec le Bourre	KM 2,500	266	22 980
	A l'aval de la confluence avec le Bourre	KM 2,600	296	25 570

	A l'amont de la confluence avec le Brachouet	KM 3,210	304	26 270
	A l'aval de la confluence avec le Brachouet	KM 3,240	506	43 720
09/09/2020 (mesures SM3A)	A l'entrée de la plaine, au pont de Vozerier	KM 0,030	15.1	1 305
	Au pont de Fernolet	KM 1,850	4.5	389
	A l'amont de la confluence avec le Brachouet	KM 3,210	0	0
	A l'aval de la confluence avec le Brachouet	KM 3,240	75.2	6 500
15/09/2020	A l'entrée de la plaine, au pont de Vozerier	KM 0,030	15.9	1 374
	Au pont de Fernolet	KM 1,850	3.7	320
	A la confluence avec le Bourre	KM 2,570	0	0
	A l'amont de la confluence avec le Brachouet	KM 3,210	0	0
	A l'aval de la confluence avec le Brachouet	KM 3,240	162	13 980

2.3.2. Le Brachouet

Le Brachouet constitue l'essentiel de la limite nord de l'aquifère du cône de déjection du Borne au sens strict. La zone aquifère située au nord du Brachouet, sur la terrasse inférieure, est essentiellement influencée par le niveau de l'Arve : c'est la nappe d'accompagnement de l'Arve. Elle n'est donc pas considérée comme étant dans le système aquifère du cône de déjection du Borne et n'apparaît dans le modèle à titre indicatif en prenant l'hypothèse que l'Arve constitue le niveau de base de l'ensemble des écoulements de la vallée.

Le Brachouet se comporte comme l'exutoire de la nappe et représente en cela une coupure hydraulique avec l'aval. Dans le secteur de Bajolet, où le Brachouet prend sa source, la terrasse se comporte comme un déversoir et le trop-plein est évacué dans le ruisseau qui continue de drainer la nappe jusqu'à sa confluence avec le Foron, à l'extrême nord-ouest du domaine.

Cette limite nord de la zone d'étude peut ainsi être assimilée à une limite à condition partielle de potentiel, appelée « condition de rivière ». Le niveau du Brachouet est imposé mais avec une « paroi » entre la nappe et lui. La conductivité de cette paroi conditionne le flux qui transite de la nappe vers le ruisseau.

A défaut de connaître la valeur de cette conductivité, la limite Nord de la nappe est interprétée comme une limite de potentiel, défini par les valeurs observées aux piézomètres les plus proches.

Le débit de ce cours d'eau a été mesuré ponctuellement en 2003 et 2020. Il est également suivi en divers points par le SM3A, tous les mois. Les mesures disponibles sont regroupées dans le tableau suivant :

Le BRACHOUET	Point de mesures	Point km	Débit en L/s	Débit en m3/j.
21-22/07/2003	Au droit de la station de Bajolet	KM 0,650	64	5 530
	A l'amont de la confluence avec le Foron	KM 3,350	143	12 360
24/06/2020	A l'amont de la confluence avec le Foron	KM 3,350	202	17 450
09/09/2020 (mesure SM3A)	A l'amont de la confluence avec le Foron	KM 3,350	75.2	6 500
14/09/2020	A l'amont de la confluence avec le Foron	KM 3,350	162	13 980
11/04/2019 au 06/05/2021 (18 mesures SM3A)	Au droit de la pisciculture	KM 3,570		
	Période de basses eaux (18/09/19)	KM 3,570	60.3	5 210
	Période de hautes eaux (04/03/21)	KM 3,570	178	15 370

	Moyenne	KM 3,570	115	10 000
	1 ^{er} décile	KM 3,570	75	6 500
	Dernier décile	KM 3,570	145	12 500

2.3.3. Le Borne

Le Borne n'est pas une limite du système. Il coule à l'intérieur de la zone d'étude. Son comportement est particulier. Ses apports à la nappe sont évidents et d'ailleurs les principaux. En revanche, son impact se réduit une fois qu'il entre dans la zone d'étude. Il s'infiltre essentiellement au sortir des gorges, puis, canalisé dès le début de la plaine, il coule largement au-dessus du niveau de la nappe (15 mètres plus haut, au droit des Vorziers). Les infiltrations et l'influence directe sur la nappe sont moindres ensuite. Les pompages d'essai aux Vorziers, n'ont pas mis en évidence une coupure hydraulique, ni même une crête piézométrique au droit du Borne.

Il est encore 5 mètres au-dessus du toit de la nappe au pont de Toisinges. A l'aval, il redevient progressivement en équilibre avec la nappe, lorsqu'elle rejoint la nappe d'accompagnement de l'Arve.

L'influence du Borne est donc à l'amont de la zone d'étude. Au sud de St-Pierre, le Borne s'infiltre et crée des niveaux piézométriques élevés qui donnent naissance à des écoulements, auxquels s'ajoutent les infiltrations surfaciques des versants (direction de Saint-Laurent et d'Andey), et qui alimentent principalement la nappe.

Le Borne n'apparaît donc pas comme une limite en tant que telle dans le modèle. Les apports par le sud sont modélisés par l'intermédiaire des niveaux imposés par les piézomètres méridionaux.

Des mesures manuelles et ponctuelles de débit ont été effectuées dans le lit de la rivière aux mois de juillet 2003, juin et septembre 2020.

Le BORNE	Point de mesures	Point km	Débit en L/s	Débit en m3/j.
10/07/2003	Sortie des Gorges de Rumilly (après pont)	KM 0,050	1 160	100 224
	Au droit de la route de Sauvy	KM 2,000	720	62 200
	Amont de la confluence avec l'Arve	KM 4,100	340	29 376
	<i>Différence amont aval</i>		820	70 840
23/06/2020	Sortie des Gorges de Rumilly (après pont)	KM 0,050	4 153	358 820
	Au droit de la route de Sauvy	KM 2,000	4 018	329 443
	Au droit du Moulin de Montessuit	KM 3,320	3 813	329 443
	<i>Différence amont aval</i>		340	29 376
15/09/2020	Sortie des Gorges de Rumilly (après pont)	KM 0,050	864	74 649
	Au droit de la route de Sauvy	KM 2,000	872	75 384
	Au droit du Moulin de Montessuit	KM 3,320	774	66 874
	<i>Différence amont aval</i>		90	7 776

2.3.4. Les limites Sud et Est

La nappe n'est pas en relation avec une rivière ou un plan d'eau à ses limites sud et est. Dans un premier temps, les piézomètres placés sur ces limites permettent d'imposer les conditions de potentiel réelles observées en ces points. Ensuite après calcul des débits transitant par ces limites, des conditions de flux peuvent être imposées pour des simulations prospectives.

La limite Sud à condition de potentiel s'étend des piézomètres de Pierre-Longue, à Grand-Champ, aux Vorziers Sud jusqu'à Pré Mouchet. La limite Est à condition de potentiel s'étend des piézomètres de Pré Mouchet, à Foulaz jusqu'au piézomètre de Bajolet.

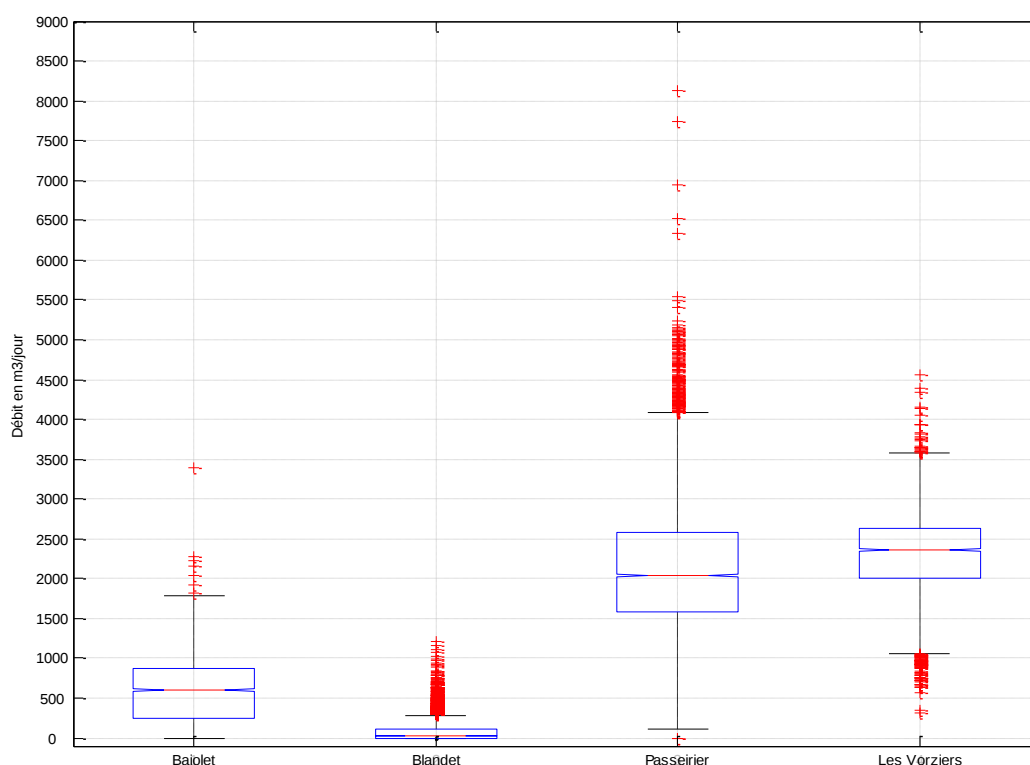
2.4. CONDITIONS INTERNES.

Quatre ouvrages principaux d'exhaure sont actuellement exploités pour l'alimentation en eau potable : les puits de Passeirier, de Bajolet, de la ferme Blandet en rive gauche du Borne et les forages des Vorziers situés en rive droite du Borne et mis en service en 2005.

Les principaux paramètres statistiques décrivant les prélèvements effectués entre 2003 et 2022 sont présentés dans les graphes suivants.

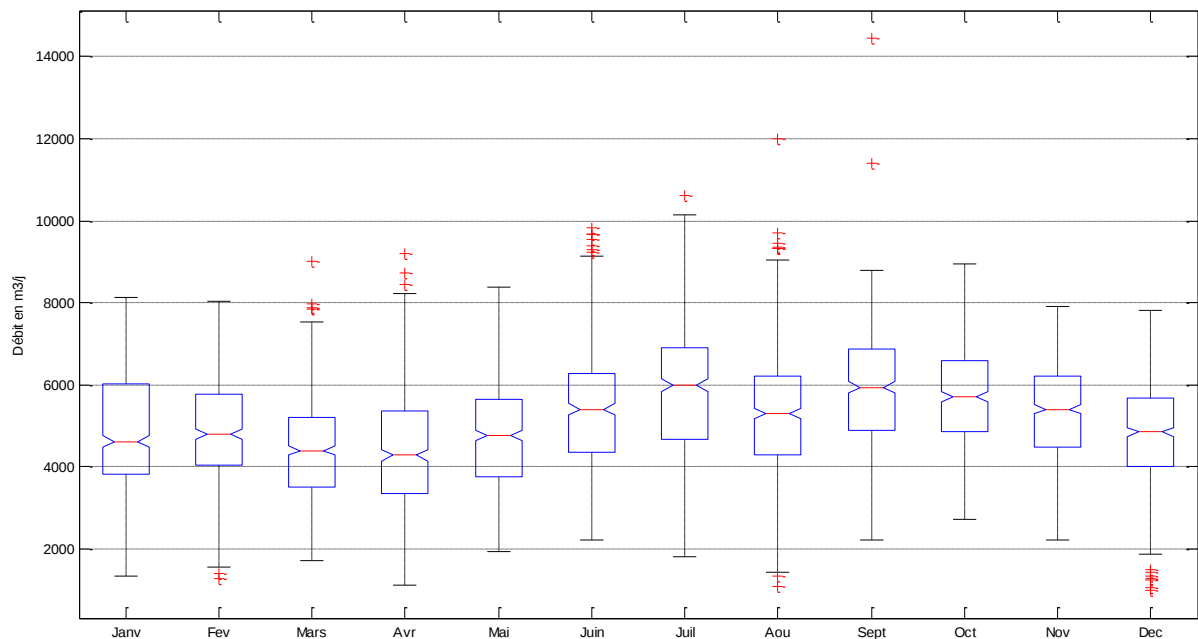
Débit en m3/jour	Puits de Bajolet	Forage de Blandet	Forage de Passeirier	Forages des Vorziers
Minimum	0	0	0	315
Premier décile	0	0	1 195	1 689
Premier quartile	239	0	1 587	2 003
Moyenne	575	86	2 122.	2 308
Médiane	601	26	2 043	2 359
Troisième quartile	871	115	2 585	2 633
Dernier décile	1 062	265	3 169	2 868
Maximum	2 272	1 218	10 651	4 564
Ecart type	434	139.	817	480

Tableau 2-1. Principaux paramètres statistiques décrivant les prélèvements journaliers regroupés par années, effectués entre 2003 et 2022, par les quatre ouvrages utilisés pour l'AEP.



Communauté de communes du Pays Rochois. Mise à jour du modèle numérique de nappe du Cône de déjection du Borne.

Figure 2-7 Principaux paramètres statistiques décrivant les prélèvements journaliers regroupés par mois, effectués entre 2003 et 2022, par les quatre ouvrages utilisés pour l'AEP.



Deux prélèvements exceptionnels réalisés le 30 juin 2010 de 12 654 m³/j et le 31 juillet 2010 de 13 583 m³/j.

3. MISE A JOUR DU MODELE SUR LA BASE DES MESURES EFFECTUEES ENTRE 2005 ET 2022.

3.1. RAPPELS.

Les codes de calcul utilisés pour l'élaboration du modèle numérique sont les codes de Modflow. Modflow a été développé par l'USGS (United States Geological Survey) pour l'étude des écoulements souterrains. Il utilise une méthode de résolution des équations différentielles aux différences finies. Le logiciel Visual Modflow Pro reprend les deux codes MODFLOW dans une interface permettant l'intégration des données, le calcul et la visualisation des résultats.

Les étapes de la construction du modèle se résument à la conception, le calage, la validation et l'exploitation du modèle.

A ce jour, le calage du modèle a été finalisé sur l'ensemble de l'année 2005. L'objet de ce rapport est de tester ce calage sur des périodes de basses et hautes eaux observées entre 2005 et 2022 et d'affiner en cas de besoin, les paramètres de ce calage.

3.2. CHOIX DES EPISODES HYDROLOGIQUES REPRESENTATIFS DES PERIODES D'ETIAGE ENTRE 2005 ET 2022.

Dans la matrice de corrélation de l'évolution du niveau piézométrique de chaque ouvrage interceptant l'aquifère, il apparaît que l'évolution du niveau piézométrique de la nappe est très similaire au droit de chaque ouvrage hormis au droit des piézomètres d'Arenthon, de Pierre Longue et des Inchires.

Cette corrélation est très élevée entre le forage de l'Autoroute et les autres ouvrages. L'évolution du niveau piézométrique dans le forage de l'Autoroute peut ainsi servir de référence pour le choix des épisodes d'étiage et de crue les plus représentatifs au cours des années 2005 à 2022.

	Arenthon	Autoroute	Bajolet	Blandet	Bornette	Foulaz	Grands Champs	Inchires	Laquets	Passeirier	Pierre Longue	Pré Mouchet	Ravure nord	Ravure sud	Hutins	Mollettes
Arenthon	1.00	0.76	0.76	0.75	0.75	0.76	0.61	0.82	0.75	0.75	0.81	0.76	0.76	0.75	0.77	0.68
Autoroute		1.00	1.00	0.98	0.99	0.99	0.93	0.86	0.99	0.98	0.81	0.99	0.98	0.98	0.93	0.95
Bajolet			1.00	0.99	0.97	0.98	0.95	0.85	0.99	0.99	0.78	0.98	0.99	0.99	0.92	0.95
Blandet				1.00	0.95	0.96	0.95	0.84	0.99	0.99	0.77	0.96	1.00	1.00	0.92	0.95
Bornette					1.00	0.99	0.90	0.85	0.96	0.95	0.82	0.99	0.95	0.95	0.91	0.94
Foulaz						1.00	0.89	0.86	0.97	0.96	0.82	0.99	0.96	0.96	0.91	0.92
Grands Champs							1.00	0.70	0.95	0.94	0.60	0.90	0.95	0.96	0.82	0.97
Inchires								1.00	0.84	0.85	0.92	0.86	0.86	0.84	0.93	0.79
Laquets									1.00	1.00	0.79	0.97	0.99	1.00	0.93	0.96
Passeirier										1.00	0.79	0.96	0.99	1.00	0.93	0.94
Pierre Longue											1.00	0.82	0.78	0.77	0.91	0.71
Pré Mouchet												1.00	0.96	0.96	0.92	0.94
Ravure nord													1.00	1.00	0.93	0.95
Ravure sud														1.00	0.92	0.95
Hutins															1.00	0.87
Mollettes																1.00

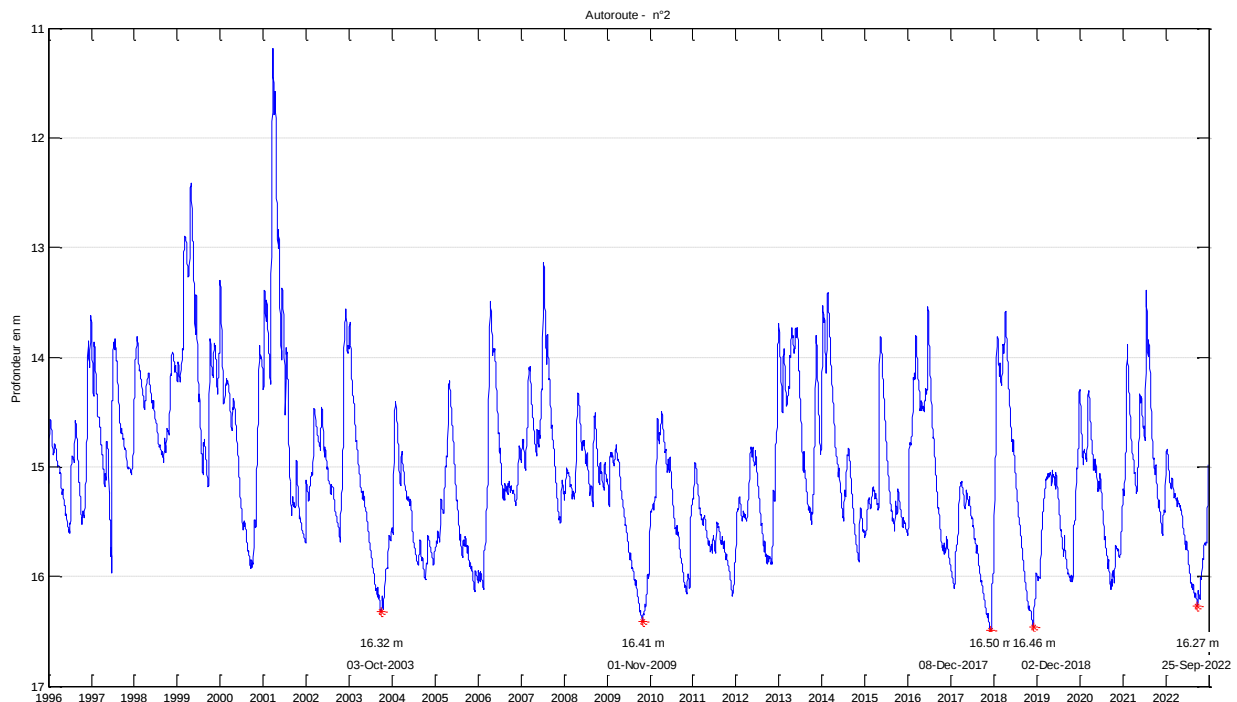
Tableau 3-1. Matrice de corrélation de l'évolution du niveau piézométrique au droit de chaque ouvrage interceptant l'aquifère.

La Figure 3-1, page 20, représente l'évolution du niveau piézométrique du forage de l'Autoroute entre 1995 et 2022. Les épisodes d'étiage les plus sévères sont observés entre :

- le 07/01/2003 et le 03/10/2003, 269 jours, profondeur du niveau piézométrique initial : 13.68 m, profondeur du niveau piézométrique final : 16.32 m, rabattement : 2.64 m ;
- le 09/03/2009 et le 01/11/2009, 237 jours, profondeur du niveau piézométrique initial : 14.80 m, profondeur du niveau piézométrique final : 16.41 m, rabattement : 1.61 m ;
- le 15/05/2017 et le 08/12/2017, 207 jours, profondeur du niveau piézométrique initial : 15.22 m, profondeur du niveau piézométrique final : 16.50 m, rabattement : 1.28 m ;
- le 10/04/2018 et le 02/12/2018, 236 jours, profondeur du niveau piézométrique initial : 13.58 m, profondeur du niveau piézométrique final : 16.46 m, rabattement : 2.88 m ;
- le 10/01/2022 et le 25/09/2022, 267 jours, profondeur du niveau piézométrique initial : 14.84 m, profondeur du niveau piézométrique final : 16.27 m, rabattement : 1.43 mm.

Communauté de communes du Pays Rochois. Mise à jour du modèle numérique de nappe du Cône de déjection du Borne.

Figure 3-1. Evolution du niveau piézométrique du forage de l'autoroute entre le 01/01/1995 et le 31/12/2022. Visualisation des périodes d'étiage.



La durée du tarissement conduisant aux niveaux piézométriques les plus bas observés est comprise entre 207 et 269 jours pour une valeur médiane de 236 jours, soit 8 mois environ.

Ces situations correspondent, en référence aux précipitations relevées à la station de Contamine sur Arve depuis 1951, à un cumul de précipitations pendant la période de tarissement inférieur à 700 mm.

Pour un cumul glissant moyen de 9 mois, la fréquence de récurrence d'un cumul de précipitations inférieur à 700 mm, sur la base des précipitations observées à Contamine sur Arve entre 1951 et 2022 est comprise entre 1 année sur 4 et 1 année sur 5.

Le rabattement maximum observé au cours de ces périodes de tarissement est de 2.88 m.

Les périodes de hautes eaux les plus importantes sont observées en 2007, 2013, 2014, 2016, 2018 et 2021, les plus faibles en 2011, 2012, 2014, 2017.

Les caractéristiques suivantes conduisent à retenir le cycle hydrologique observé entre les 01/12/2016 et 30/11/2017 et le cycle hydrologique compris entre les 01/12/2017 et 30/11/2018, comme périodes de référence, pour actualiser du modèle :

- les deux années sont marquées par deux périodes de tarissement exceptionnelles : les niveaux piézométriques observés au cours de ces deux années sont les niveaux les plus bas relevés depuis 1995 ;
- la recharge de l'aquifère à la fin de l'année 2017 et le début de l'année 2018 est également importante : le niveau haut atteint est proche de la valeur médiane des niveaux hauts observés chaque année depuis 1995 ;
- le tarissement de l'aquifère au cours de l'année 2018 n'est pratiquement pas interrompu entre le 10/04/2018 et le 02/12/2018, (236 jours) ; seul un court épisode pluvieux, à la mi-juin, génère une faible recharge de 0.10 m pendant 3 jours ;
- la durée de la période de tarissement de l'année 2018 (236 jours) correspond à la valeur médiane des durées observées (durée max : 269 jours, durée min : 207 jours).

3.3. MODELISATION DU COMPORTEMENT DE L'AQUIFERE AU COURS DES ANNEES 2017 – 2018.-2019.

3.3.1. Qualité de l'ajustement du modèle aux valeurs observées. Rappels.

La qualité de l'ajustement du modèle aux valeurs observées est évalué à partir :

- d'une approche statistique de la valeur des résidus : minimum, maximum, moyenne, moyenne absolue, erreur standard de l'estimation (somme des carrés des résidus), la racine carré de la moyenne des erreurs, le coefficient de corrélation ;
- l'intervalle de confiance à 95%, dans lequel les valeurs obtenues par calcul par les paramètres retenus peuvent être jugées représentatives des valeurs observées ;
- de la cohérence du bilan des écoulements transitant dans l'aquifère avec les volumes potentiellement infiltrés dans le lit du Borne et les volumes écoulés par les émergences naturelles de la nappe.

L'ajustement porte sur les valeurs observées aux piézomètres suivants : Autoroute, Bornette, Grand Champ, Passeirier, Laquets, Ravure Sud.

3.3.2. Ajustement des valeurs calculées aux valeurs observées au droit des piézomètres.

Ce paragraphe synthétise les principaux paramètres permettant une approche quantifiée de la précision du calage du modèle à partir des différents champs de perméabilité et d'emménagement retenus. Les paramètres caractérisant la précision au droit de chaque piézomètre est portée en annexe n°1.

Le Tableau 3-2, page 22, présente les principaux paramètres statistiques décrivant les valeurs des résidus entre les valeurs calculées et les valeurs observées.

A l'échelle du modèle :

- la valeur absolue de la moyenne de l'amplitude des résidus est de 0.24 m, comparée à l'épaisseur moyenne de l'aquifère de 21 mètres (basses eaux 2018), la valeur relative (1 %) est très faible ;
- le coefficient de corrélation est élevée (0.98) ; il traduit la bonne relation entre les fluctuations observées et les fluctuations calculées ;
- le nombre de valeurs calculées en dehors de l'intervalle de confiance à 95% est faible : 8.6 % des valeurs.

Sur la base de ces constats, les différents champs de perméabilité et d'emménagement retenus pour le calage du modèle peuvent être jugés représentatifs du fonctionnement de l'aquifère.

Nb de valeurs.	5 298
Résidu maximum	0.86
Résidu minimum	-0.78
Résidu moyen	0.09
Valeur absolue de la moyenne de l'amplitude des résidus.	0.24
Erreur standard de l'estimation (SSE) = dispersion des résidus autour de la valeur attendue des résidus.	0.004
Root mean square (valeur proche de 1) ; Exprime le % de variation expliqué par l'ajustement linéaire)	0.30
Normalize Root Mean Square. RMS divisé par la différence maximale des valeurs observées. Exprimé en % il est plus représentatif que le RMS car prend en compte le nb de valeurs.	4 %
Coefficient de corrélation	0.98
Nb de valeurs non comprises dans l'intervalle de confiance à 95%.	460
% de valeur non comprises dans l'intervalle de confiance à 95 %	8.6 %

Tableau 3-2. Principaux paramètres statistiques décrivant la valeur des résidus entre les valeurs observées et les valeurs calculées par le modèle.

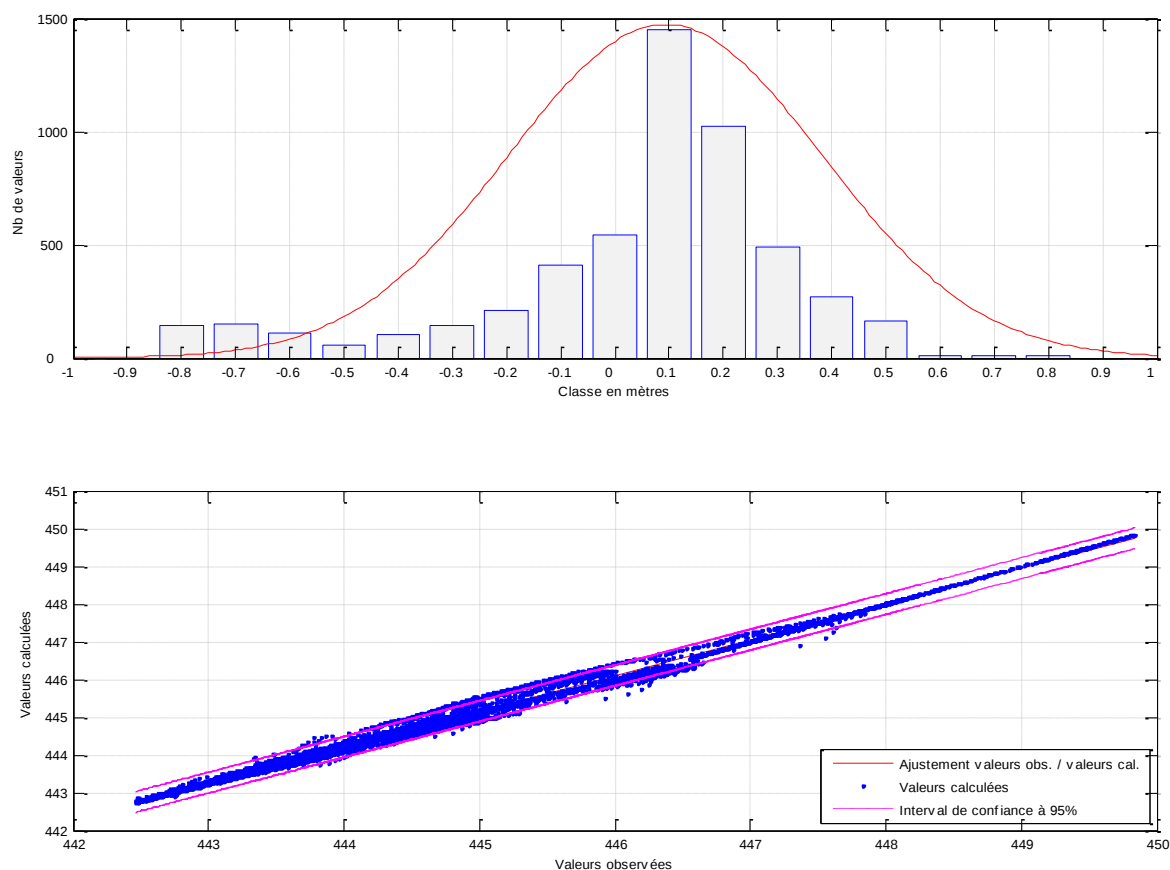
La Figure 3-2, page 22, présente :

- une comparaison qualitative entre la distribution des résidus et une distribution normale. La distribution des résidus apparaît favorablement centrée sur les valeurs proches de 0 ;
- l'ajustement des résidus à une droite par la méthode des moindres carrés et l'intervalle de confiance à 95 %. L'intervalle à 95% est un intervalle dans lequel 95 % des valeurs calculées sont susceptibles de se trouver. Cet intervalle permet de considérer un calage comme représentatif. Seule 8.6 % des valeurs sont extérieures à cet intervalle.

La distribution des résidus et la faible proportion de valeurs en dehors de l'intervalle de confiance à 95% permettent de juger les différents champs de perméabilité et d'emménagement retenus pour le calage du modèle représentatifs du fonctionnement de l'aquifère.

Communauté de communes du Pays Rochois. Mise à jour du modèle numérique de nappe du Cône de déjection du Borne.

Figure 3-2. Distribution des résidus entre les valeurs observées et les valeurs calculées sur les 6 piézomètres de référence et évaluation de l'incertitude à laquelle les valeurs sont calculées.



3.3.3. Cohérence entre les écoulements transitant dans l'aquifère, les volumes potentiellement infiltrés dans l'aquifère et écoulés par les émergences naturelles de la nappe.

Le modèle numérique mis en œuvre permet d'établir le bilan des écoulements transitant dans l'aquifère.

Les bilans analysés portent sur les périodes de basses eaux observées le 08/12/2017 et le 04/12/2018, périodes hydrologiquement semblables.

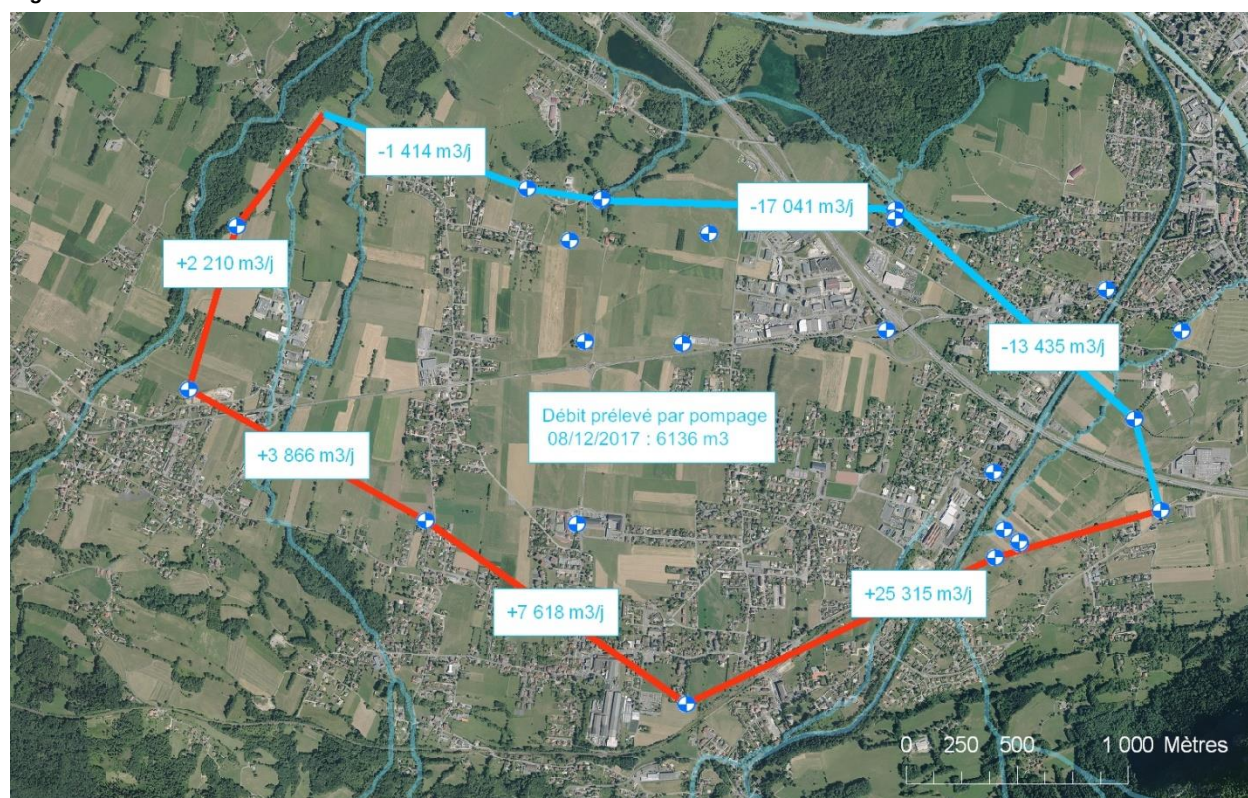
Les tableaux suivants présentent les termes de ces bilans, pour la zone définie sur la Figure 3-3, page 23.

Nom de la limite	Débit en entrée m3/j le 08/12/2017	Débit en sortie m3/j le 08/12/2017	Débit en entrée en L/s le 08/12/2017	Débit en sortie en L/s le 08/12/2017
Prélèvements AEP	0	6 136	0	71
Limite Molettes – Pré Mouchet (3)	25 315	2 143	293	25
Limite Pierre Longue – Inchires (4)	2 210	554	26	6
Limite Molettes – Hutins (6)	7 618		88	0
Limite Ravure – Foron (7)	0	1 414	0	16
Limite Bajolet – Ravure (8)	591	17 041	7	197
Limite Pré Mouchet – Bajolet (9)	1 131	13 435	13	155
Limite Hutins – Pierre Longue (11)	3 866	0	45	0
Total	40 731	40 723	471	471

Tableau 3-3. Bilan des écoulements dans l'aquifère le 08/12/2017. Période d'étiage sévère.

Communauté de communes du Pays Rochois. Mise à jour du modèle numérique de nappe du Cône de déjection du Borne.

Figure 3-3 Bilan des écoulements au 08/12/2017.

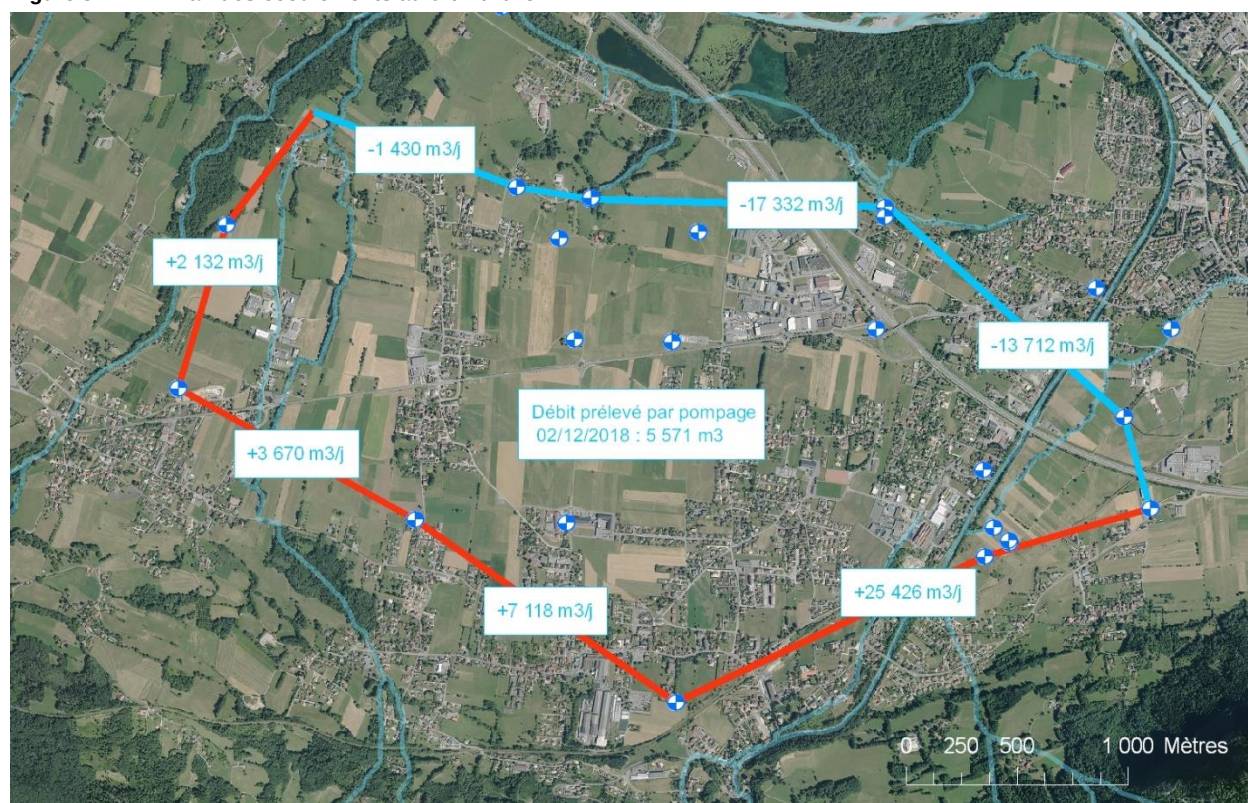


Nom de la limite	Débit en entrée m3/j le 02/12/2018	Débit en sortie m3/j le 02/12/2018	Débit en entrée en L/s le 02/12/2018	Débit en sortie en L/s le 02/12/2018
Prélèvements AEP		5 771	0	67
Limite Molettes – Pré Mouchet (3)	25 426	1 913	294	22
Limite Pierre Longue – Inchires (4)	2 132	553	25	6

Nom de la limite	Débit en entrée m3/j le 02/12/2018	Débit en sortie m3/j le 02/12/2018	Débit en entrée en L/s le 02/12/2018	Débit en sortie en L/s le 02/12/2018
Limite Molettes – Hutins (5)	7 118	0	82	0
Limite Ravure – Foron (7)	0	1 430	0	17
Limite Bajolet – Ravure (8)	675	17 332	8	201
Limite Pré Mouchet – Bajolet (9)	1 199	13 712	14	159
Limite Hutins – Pierre Longue (11)	3 670	0	42	0
Total	40 220	40 711	466	469

Tableau 3-4. Bilan des écoulements dans l'aquifère le 02/12/2018. Période d'été sévère.

Communauté de communes du Pays Rochois. Mise à jour du modèle numérique de nappe du Cône de déjection du Borne.
Figure 3-4 Bilan des écoulements au 02/12/2018.



Les bilans de ces deux périodes, correspondant à des contextes hydrologiques semblables sont logiquement très proches.

Les volumes transitant dans l'aquifère sont voisins et proches de 40 000 m3/j (460 L/s).

Les débits transitant en amont du Brachouet et au droit de la ligne entre Bajolet - Ravure - Foron, calculés par le modèle, sont de l'ordre de 17 000 m3/j (196 L/s). Cette valeur est dans la fourchette haute des valeurs de débits observés sur le cours d'eau mais reste dans un ordre de grandeur cohérent avec le contexte hydrogéologique : les débits mesurés dans le Brachouet ne constituent que le drainage du toit de la nappe effectué par le cours d'eau, des écoulements profonds poursuivent leur cheminement vers l'Arve, niveau de base local.

Les débits d'alimentation en provenance de la limite Molettes – Les Hutins et Mollettes – Pré Mouchet (32 000 m3/j, 370 L/s) apparaissent dans la fourchette des 3 valeurs de débits infiltrées par le Borne, calculées à partir des jaugeages différentiels effectués à l'entrée du cours d'eau dans la plaine jusqu'à sa

confluence avec l'Arve. L'étendue des valeurs mesurées est cependant importante entre 8 000 m³/j et 71 000 m³/j, avec une valeur intermédiaire proche de 30 000 m³/j observée le 23/06/2020.

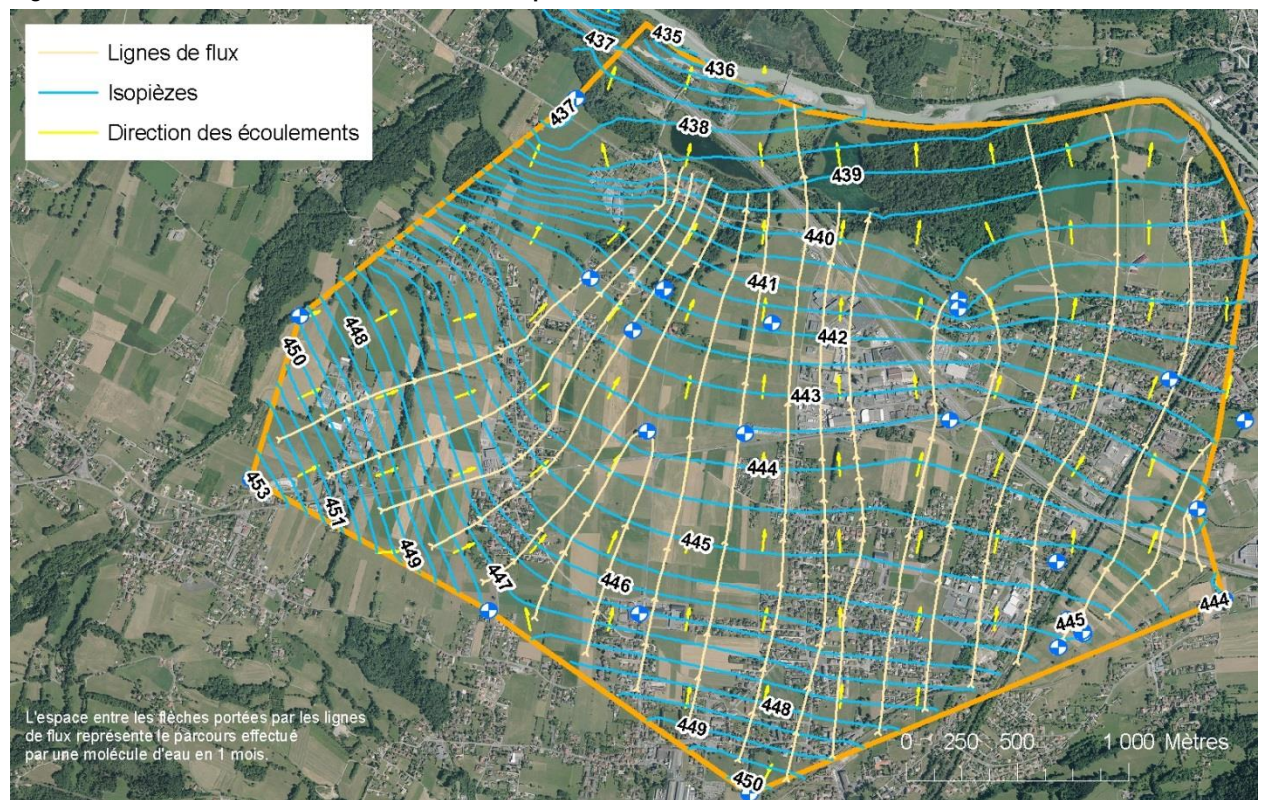
La cohérence entre les valeurs calculées et les valeurs observées permettent de considérer, à partir des données disponibles, le calage obtenu comme représentatif du comportement de l'aquifère. Celui-ci devra cependant être encore précisé par des observations complémentaires concernant les débits gravitaires de la nappe drainés par le Brachouet et les débits d'infiltration du Borne, à son entrée et le long de son parcours dans la plaine.

4. CARACTERISATION DES ECOULEMENTS EN PERIODE DE BASSES EAUX. LE 08/12/2017.

4.1. CONFIGURATION DES ECOULEMENTS.

La Figure 4-1 présente la surface piézométrique de la nappe observée le 08/12/2017 à une période de basses eaux sévère.

Communauté de communes du Pays Rochois. Mise à jour du modèle numérique de nappe du Cône de déjection du Borne.
Figure 4-1 Caractérisation des écoulements en période de basses eaux. Le 08/12/2017.



L'image des écoulements observés au cours de cette période est peu différente de celle relevée au cours de l'été 2003 :

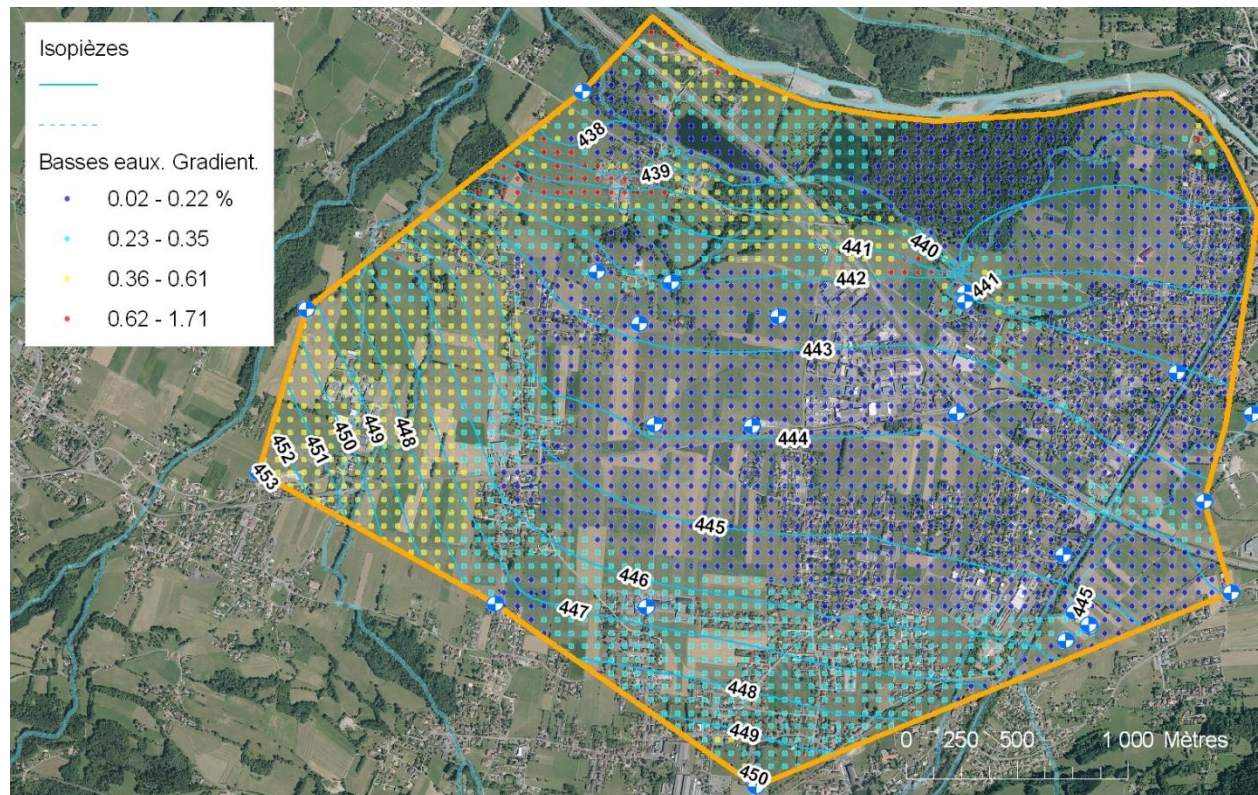
- l'altitude du niveau piézométrique de l'aquifère est comprise entre 453 mètres au Sud-Ouest de la nappe et 436 mètres au Nord en bordure dans le secteur de la confluence entre le Foron et le Brachouet ;
- la configuration des écoulements distingue cinq secteurs :
 - le secteur Pierre Longue - Ravure où les écoulements sont de direction sud-ouest/nord-est. La durée de parcours d'une molécule entre le hameau de Passeirier et le Brachouet est de quatre mois environ ;

- le secteur Les Hutins – Grands-Champs - les Mollettes – Laquets – Busquet où les écoulements drainants sont de direction nord-sud. La durée du parcours d'une molécule entre les Hutins et le Brachouet est de quatre mois environ. La zone d'alimentation du forage de Passeirier se dessine nettement, avec une largeur voisine de 500 mètres environ, dans le secteur des Grands Champs, et de 300 mètres au pourtour du forage. Sa surface est comprise dans les périmètres de protections immédiate et rapprochée définies pour son extension latérale, dans le périmètre de protection éloignée pour son extension longitudinale ;
- le secteur Molettes – Bajolet – rive droite du Borne, où une crête piézométrique se dessine, matérialisant l'incidence de l'alimentation de l'aquifère par l'infiltration des eaux du Borne. La durée du parcours d'une molécule entre le Hameau des Tattes à Saint Pierre en Faucigny et le Brachouet à hauteur du Moulin de Bajolet est comprise entre 6 et 7 mois. La zone d'alimentation du puits de Bajolet se dessine nettement, formant une bande d'une largeur voisine de 350 mètres environ, entre les hameaux des Oliviers et le Hameau des Tattes au sud et le puits de Bajolet au nord. Cette surface est partiellement comprise dans le périmètre de protection rapprochée et intégralement dans le périmètre de protection éloignée ;
- le secteur en rive droite du Borne, où sont implantés les forages des Vorziers, à l'aval desquels les écoulements demeurent pratiquement parallèles au lit du Borne. La durée de parcours d'une molécule entre les forages et l'Arve est de 9 mois environ ;
- le secteur au nord, de Bajolet à la confluence du Brachouet où les lignes isopièzes, pratiquement parallèles au Brachouet, se resserrent sous l'influence de l'écoulement gravitaire de la nappe dans le cours d'eau et du drainage potentiel du toit de la nappe effectué par celui-ci.

4.2. GRADIENT ET VITESSE.

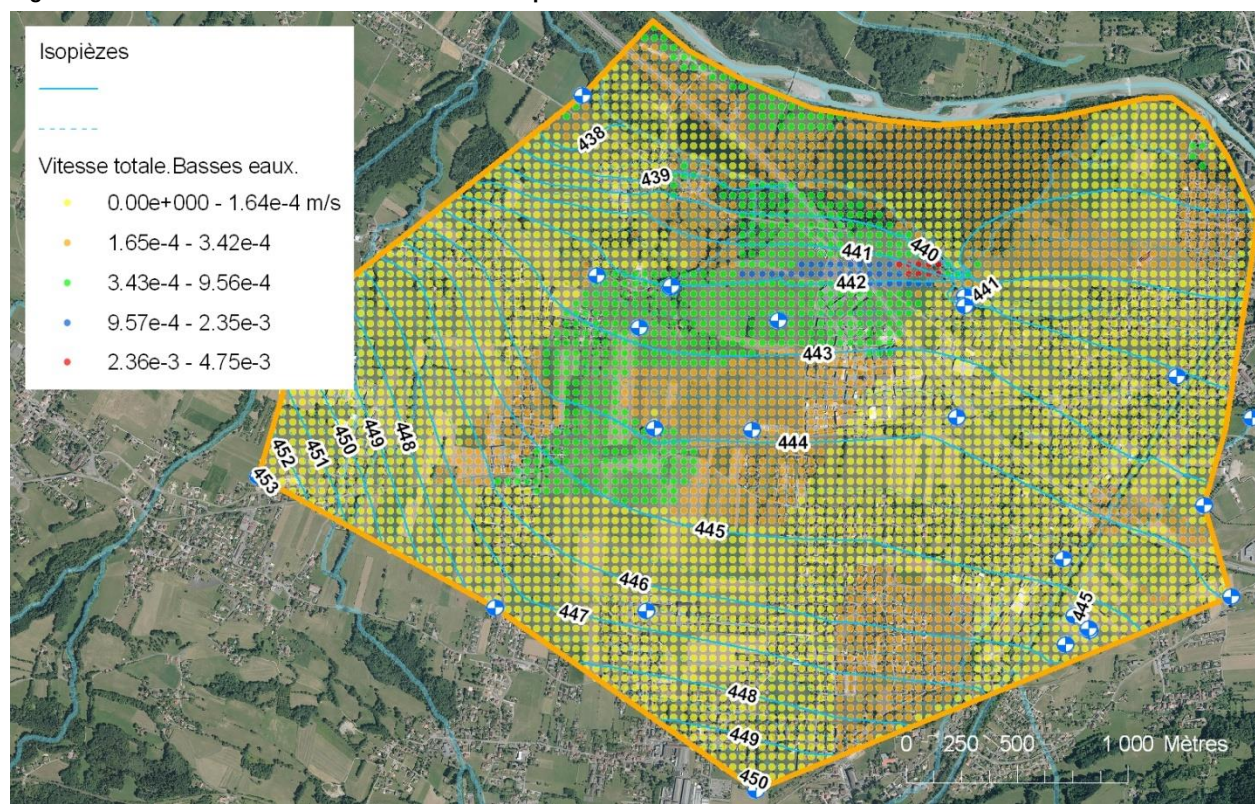
Communauté de communes du Pays Rochois. Mise à jour du modèle numérique de nappe du Cône de déjection du Borne.

Figure 4-2 Caractérisation des écoulements en période de basses eaux. Le 08/12/2017. Gradient.



A l'échelle de l'aquifère, la pente moyenne est de 0.24 % la maximale de 1.71 % dans le secteur de Bajolet, le minimum de 0.2% au centre de l'aquifère dans un rectangle compris entre le puits de Passeirier, le forage de l'Autoroute, le piézomètre de Bornette et le piézomètre de Grand Champ.

Communauté de communes du Pays Rochois. Mise à jour du modèle numérique de nappe du Cône de déjection du Borne.
Figure 4-3 Caractérisation des écoulements en période de basses eaux. Le 08/12/2017. Vitesse.



A l'échelle de l'aquifère, la vitesse moyenne des écoulements est de 1.8 e-4 m/s , la maximale de 4.7 e-3 m/s dans le secteur de Bajolet.

4.3. BILAN DES ECOULEMENTS.

Le bilan des flux entrant et sortant est présenté dans le paragraphe 3.3.3, page 22, et répété ci-après :

Nom de la limite	Débit en entrée m3/j le 08/12/2017	Débit en sortie m3/j le 08/12/2017	Débit en entrée en L/s le 08/12/2017	Débit en sortie en L/s le 08/12/2017
Prélèvements AEP	0	6 136	0	71
Limite Molettes – Pré Mouchet (3)	25 315	2 143	293	25
Limite Pierre Longue – Inchires (4)	2 210	554	26	6
Limite Molettes – Hutins (6)	7 618		88	0
Limite Ravure – Foron (7)	0	1 414	0	16
Limite Bajolet – Ravure (8)	591	17 041	7	197
Limite Pré Mouchet – Bajolet (9)	1 131	13 435	13	155
Limite Hutins – Pierre Longue (11)	3 866	0	45	0
Total	40 731	40 723	471	471

Tableau 4-1. Bilan des écoulements dans l'aquifère le 08/12/2017. Période d'étiage sévère.

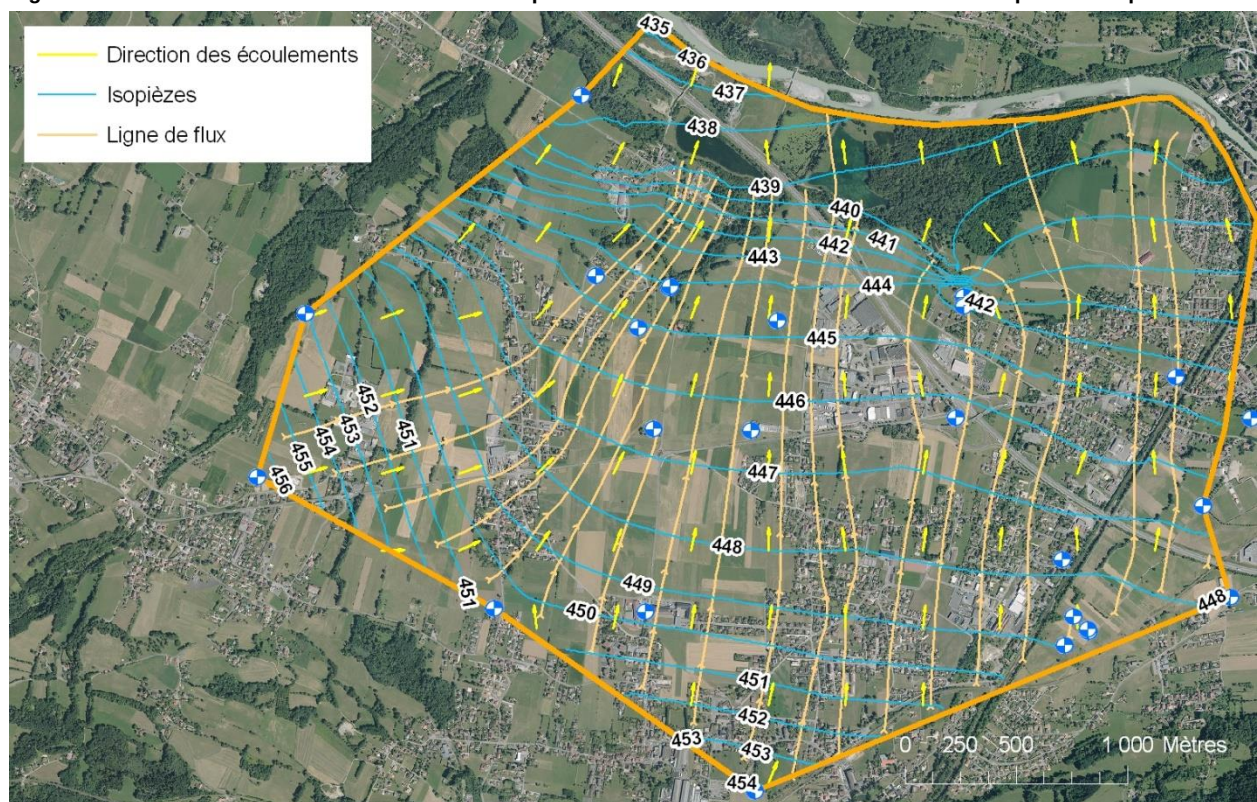
5. CARACTERISATION DES ECOULEMENTS EN PERIODE DE HAUTES EAUX. LE 10/04/2018.

5.1. CONFIGURATION DES ECOULEMENTS.

La Figure 5-2, page 29, présente la surface piézométrique de la nappe observée le 10/04/2018 à une période de hautes eaux importante.

L'altitude du niveau piézométrique de l'aquifère est comprise entre 456.5 mètres au Sud-Ouest de la nappe et 436 mètres au Nord en bordure dans le secteur de la confluence entre le Foron et le Brachouet. L'altitude moyenne est de 445 mètres. Les vitesses d'écoulement dans l'aquifère sont plus rapides, le temps de transit d'une molécule d'eau entre la limite sud et le forage de Passeirier est inférieure à trois mois (4 mois en période de basses eaux), entre la limite sud et le puits de Bajolet inférieure à 4 mois (7 mois en périodes de basses eaux).

Communauté de communes du Pays Rochois. Mise à jour du modèle numérique de nappe du Cône de déjection du Borne.
Figure 5-1 Caractérisation des écoulements en période de hautes eaux. Le 10/04/2018. Surface piézométrique.



5.2. GRADIENT ET VITESSES.

La Figure 5-2, page 29, présentent les valeurs et la répartition des gradients en période de hautes eaux.

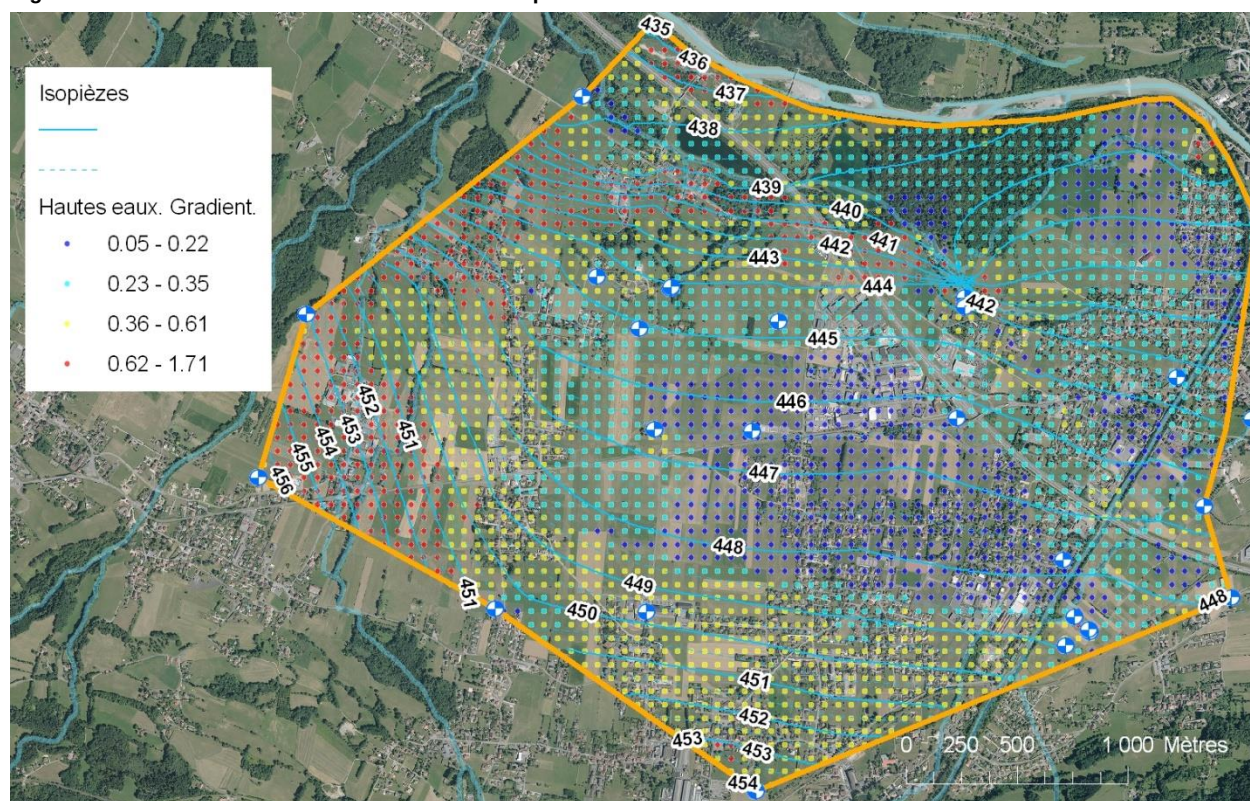
A l'échelle de l'aquifère, la pente moyenne est de 0.38% (+ 0.14% par rapport à une période d'étiage), la maximale de 1.71 % dans le secteur de Bajolet identique à celle relevée en période de basses eaux. (L'absence de différence par rapport à une période d'étiage est liée à la cote imposée par l'écoulement gravitaire de la nappe dans le Brachouet) et en bordure sud-ouest de l'aquifère où la faible perméabilité des terrains maintient un niveau piézométrique élevé.

Les valeurs les plus faibles (< 0.22%) sont localisées dans un rectangle situé entre la ville de Saint Pierre et la zone d'activités économiques.

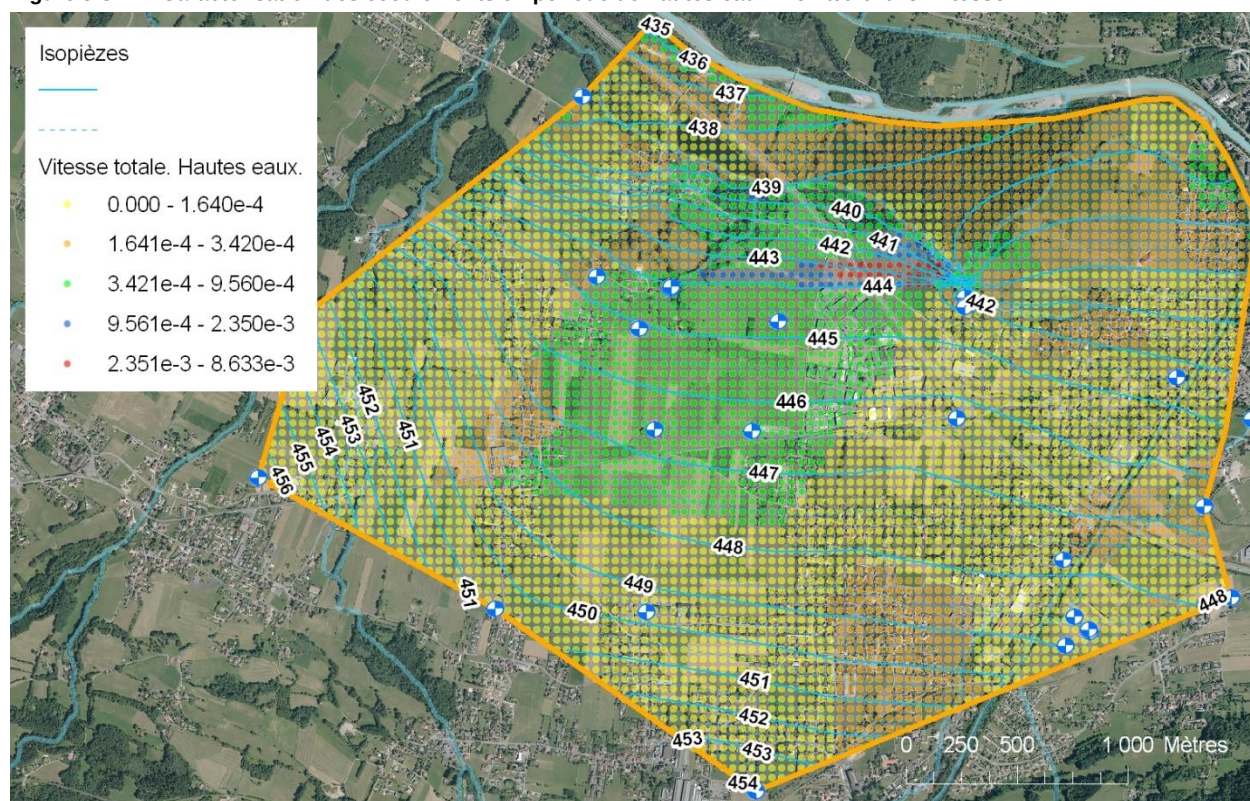
La Figure 5-2, page 29, présentent les valeurs et la répartition de la vitesse des écoulements au sein de l'aquifère en période de hautes eaux.

A l'échelle de l'aquifère, la vitesse moyenne des écoulements est de 2.4×10^{-4} m/s ($+0.2 \times 10^{-4}$ m/s par rapport à la période d'étiage), la maximale de 8.3×10^{-3} m/s dans le secteur de Bajolet.

Communauté de communes du Pays Rochois. Mise à jour du modèle numérique de nappe du Cône de déjection du Borne.
Figure 5-2 Caractérisation des écoulements en période de hautes eaux. Le 10/04/2018. Gradient.



Communauté de communes du Pays Rochois. Mise à jour du modèle numérique de nappe du Cône de déjection du Borne.
Figure 5-3 Caractérisation des écoulements en période de hautes eaux. Le 10/04/2018. Vitesse.



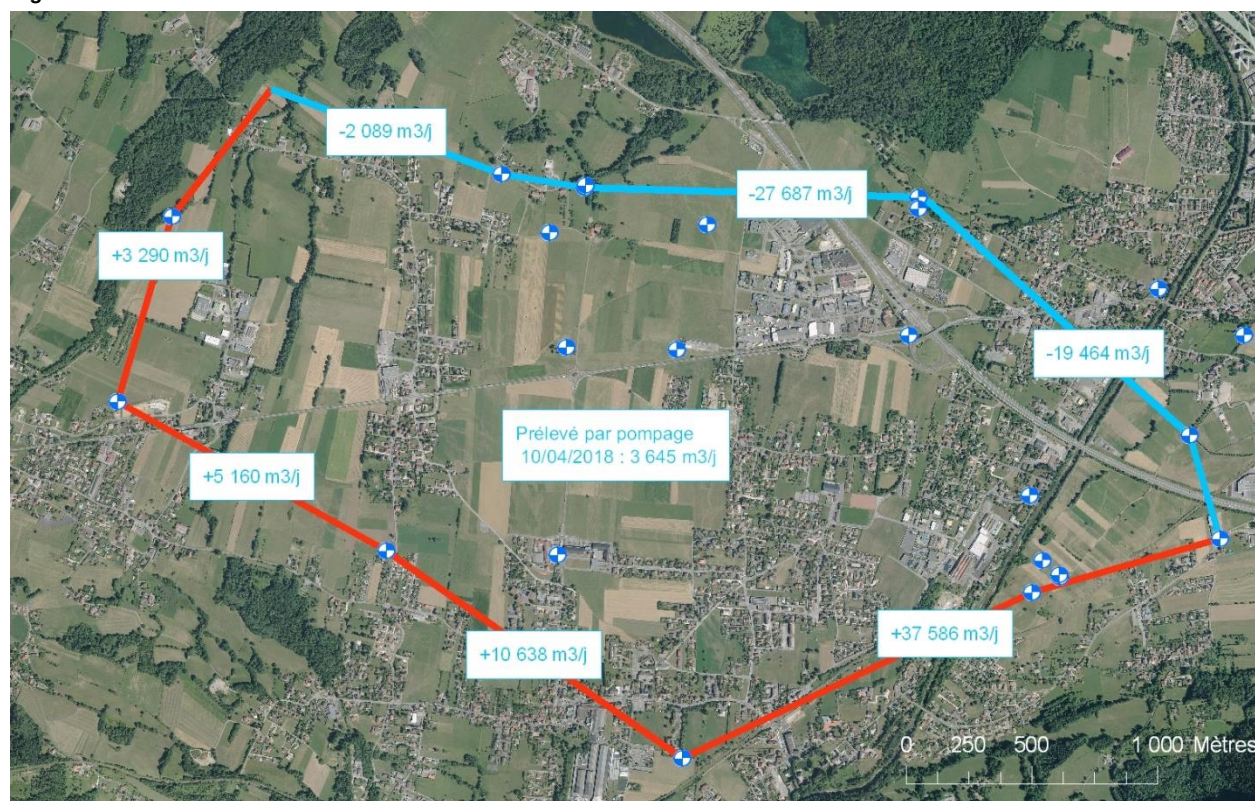
5.3. BILAN DES ECOULEMENTS.

Le volume global, transitant dans l'aquifère, calculé par le modèle, est proche de 60 000 m³/j. L'apport aux limites de l'aquifère se décompose selon les valeurs présentées dans le tableau suivant :

Nom de la limite	Débit en entrée m ³ /j le 10/04/2018	Débit en sortie m ³ /j le 10/04/2018	Débit en entrée en L/s le 10/04/2018	Débit en sortie en L/s le 10/04/2018
Réserves		4 615		53
Prélèvements AEP		3 644	0	42
Limite Molettes – Pré Mouchet (3)	37 586	1 534	435	18
Limite Pierre Longue – Inchires (4)	3 290	665	38	8
Limite Molettes – Hutins (6)	10 638	0	123	0
Limite Ravure – Foron (7)	0	2 089	0	24
Limite Bajolet – Ravure (8)	503	27 687	6	320
Limite Pré Mouchet – Bajolet (9)	2 260	19 464	26	225
Limite Hutins – Pierre Longue (11)	5116	0	59	0
Total	59 393	59 434	687	688

Tableau 5-1. Bilan des écoulements dans l'aquifère le 10/04/2018. Période de hautes eaux.

Communauté de communes du Pays Rochois. Mise à jour du modèle numérique de nappe du Cône de déjection du Borne.
Figure 5-4 Période de hautes eaux. Bilan des écoulements au 10/04/2018.



6. DIFFERENCES OBSERVEES ENTRE LES PERIODES DE HAUTES ET BASSES EAUX.

6.1. CONFIGURATION DES ECOULEMENTS.

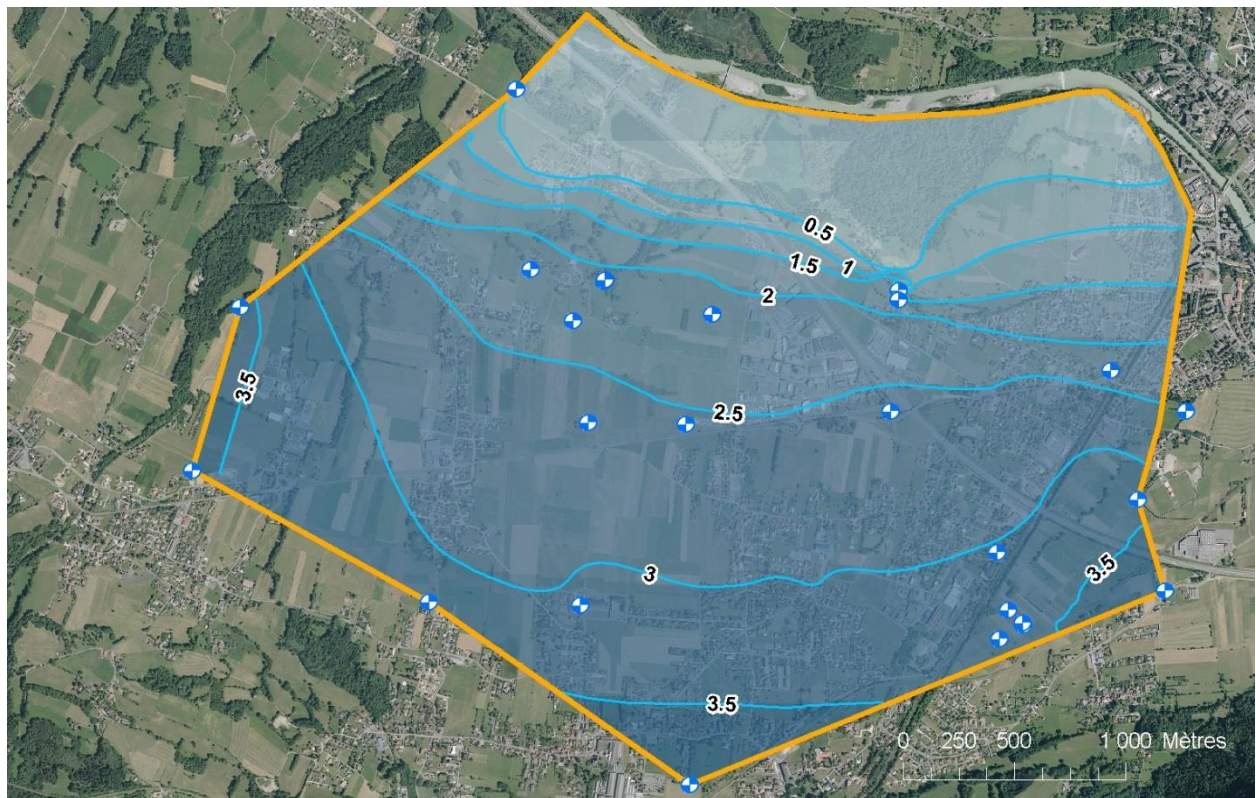
La Figure 6-1, page 31, présente la différence d'altitude du niveau piézométrique entre les périodes de hautes et basses eaux.

Les écarts sont importants, croissant du Nord vers le Sud, de 0.5 mètres à l'approche du Brachouet à 3.5 mètres en limite sud, à proximité du Foron et du Borne.

Les écarts conséquents observés :

- au droit du piézomètre des Mollettes, à proximité du Borne sont liés aux importantes infiltrations du Borne à son débouché dans la plaine et d'éventuels apports en provenance des versants ;
- au droit du piézomètre de Pierre Longue sont liés aux caractéristiques des terrains, dont la faible transmissivité et le faible coefficient d'emmagasinement ralentissent l'écoulement des eaux infiltrées par le Foron.

Communauté de communes du Pays Rochois. Mise à jour du modèle numérique de nappe du Cône de déjection du Borne.
Figure 6-1 Différence d'altitude du niveau piézométrique entre les périodes de hautes et basses eaux.



6.2. GRADIENT ET VITESSE.

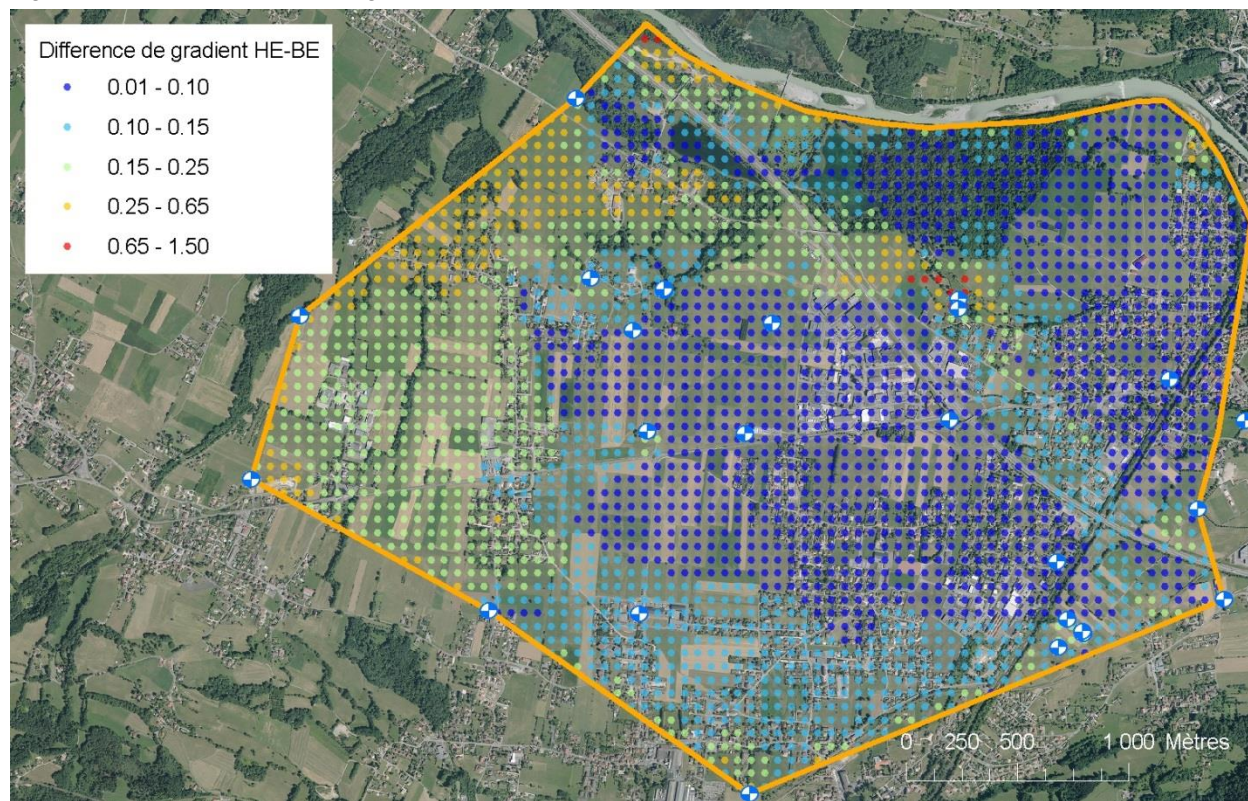
La Figure 6-2, page 32, présente la différence de gradient entre la période de hautes eaux du 10/04/2018 et la période de basses eaux du 08/12/2017.

La moyenne des différences est voisine de 0.13%, les valeurs les plus importantes supérieures à 0.65% sont observées aux pourtours du puits de Bajolet, les plus faibles inférieures à 0.1% au centre de la plaine entre le Borne et le hameau de Passeirier.

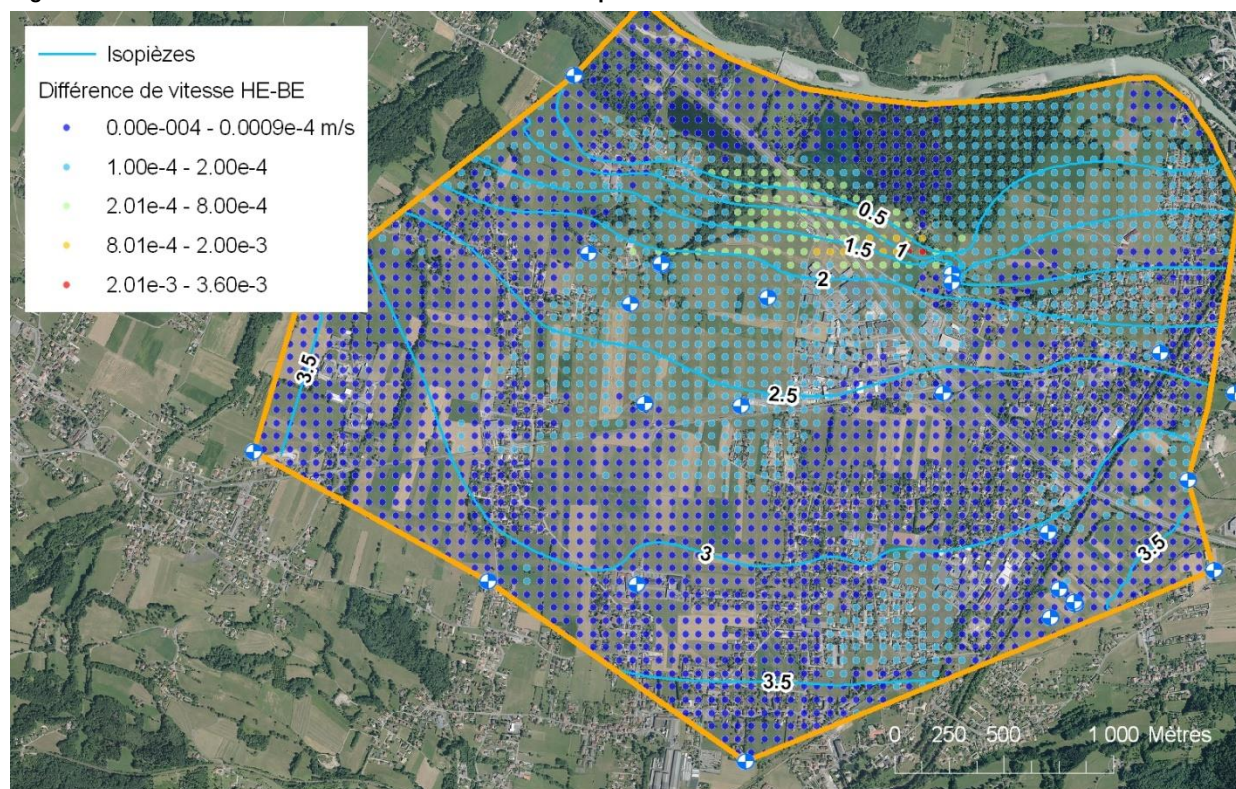
La Figure 6-2, page 32, présente la différence entre les vitesses d'écoulement observées en période de hautes eaux le 10/04/2018 et en période de basses eaux le 08/12/2017.

La moyenne des différences est très faible voisine de 0.6×10^{-4} m/s, ces valeurs sont localisées au centre de la plaine et en bordure de l'Arve. Les plus importantes, supérieures à 2×10^{-3} m/s sont localisées autour du puits de Bajolet.

Communauté de communes du Pays Rochois. Mise à jour du modèle numérique de nappe du Cône de déjection du Borne.
Figure 6-2 Différence entre les gradients de hautes et basses eaux.



Communauté de communes du Pays Rochois. Mise à jour du modèle numérique de nappe du Cône de déjection du Borne.
Figure 6-3 Différence entre les vitesses observées en périodes de hautes et basses eaux.



6.3. BILAN DES ECOULEMENTS.

La différence de flux transitant dans l'aquifère entre une période de hautes eaux (59 400 m³/j) et une période de basses eaux (40 700 m³/j) est de 18 700 m³/j environ (213 L/s).

Nom de la limite	Débit en entrée m ³ /j le 10/04/2018	Débit en sortie m ³ /j le 10/04/2018	Débit en entrée m ³ /j le 08/12/2017	Débit en sortie m ³ /j le 08/12/2017	Différence. Débit en entrée en m ³ /j	Différence. Débit en sortie en m ³ /j
Stockage		4 615			0	4 615
Prélèvements AEP		3 644	0	6 136	0	-2 492
Limite Molettes – Pré Mouchet (3)	37 586	1 534	25 315	2 143	12 271	-609
Limite Pierre Longue – Inchires (4)	3 290	665	2 210	554	1 080	111
Limite Molettes – Hutins (6)	10 638	0	7 618		3 020	0
Limite Ravure – Foron (7)	0	2 089	0	1 414	0	675
Limite Bajolet – Ravure (8)	503	27 687	591	17 041	-88	10 646
Limite Pré Mouchet – Bajolet (9)	2 260	19 464	1 131	13 435	1 129	6 029
Limite Hutins – Pierre Longue (11)	5116	0	3 866	0	1 250	0
Total	59 393	59 434	40 731	40 723	18 662	18 711

Tableau 6-1. Bilan des écoulements entre une période de hautes eaux et une période de basses eaux.

7. ANALYSE DU FLUX TRANSITANT DANS L'AQUIFERE AU COURS D'UN CYCLE HYDROLOGIQUE.

La connaissance des flux transitant dans l'aquifère est une donnée importante à considérer dans le cadre d'une gestion équilibrée d'une ressource en eau : les prélèvements effectués ne doivent pas être supérieurs à la recharge interannuelle de cette ressource.

7.1. FLUX TRANSITANT DANS L'AQUIFERE A L'ECHELLE ANNUELLE.

Sur la Figure 3-1, page 20, les cycles hydrologiques 01/12/2016-30/11/2017 et 01/12/2017-30/11/2018 se distinguent par les valeurs extrêmes relevées, caractérisées pour :

- le cycle 01/12/2016 – 30/11/2017, par une recharge parmi les plus faibles relevées, suivi de l'étiage le plus sévère relevé depuis 2003 ;
- le cycle 01/12/2017 – 30/11/2018 :
 - par une recharge parmi les plus élevées suivie d'un étiage parmi les plus sévères relevés depuis 2003, presque identique à celui observé dans le cycle hydrologique 2016-2017 ;
 - d'un tarissement très peu influencé par les précipitations pendant plus de 170 jours.

L'analyse du bilan des volumes écoulés au cours de ces deux cycles permet d'approcher l'incidence des conditions météorologiques extrêmes (à ce jour), sur les volumes transitant annuellement dans l'aquifère ; le cycle 01/12/2016 – 30/11/2017 caractérisant un cycle de faible recharge interannuel dont la fréquence de récurrence est de une année sur 20, le cycle 01/12/2017-30/11/2018, un cycle de forte recharge interannuelle dont la fréquence de récurrence est de 7 années sur 20.

Le tableau ci-dessous présente les bilans calculés pour ces deux cycles hydrologiques. Il apparaît que :

- le volume interannuel de recharge de l'aquifère entre les deux périodes extrêmes observées entre 2005 et 2022, prises comme références, est compris entre 15 800 000 m³ et 17 600 000 m³ ;
- les volumes actuellement prélevés pour l'alimentation en eau potable représentent entre 13 et 15% du volume transitant et sortant de l'aquifère, en direction de l'Arve ; volume compris entre 13 800 000 m³ et 15 630 000 m³ ;
- dans le cadre d'une alimentation raisonnée de la ressource en eau, basée sur un prélèvement inférieur à la recharge potentielle interannuelle de l'aquifère, la fourchette base de ces volumes est une limite de prélèvement, entre autres critères, à ne pas dépasser.

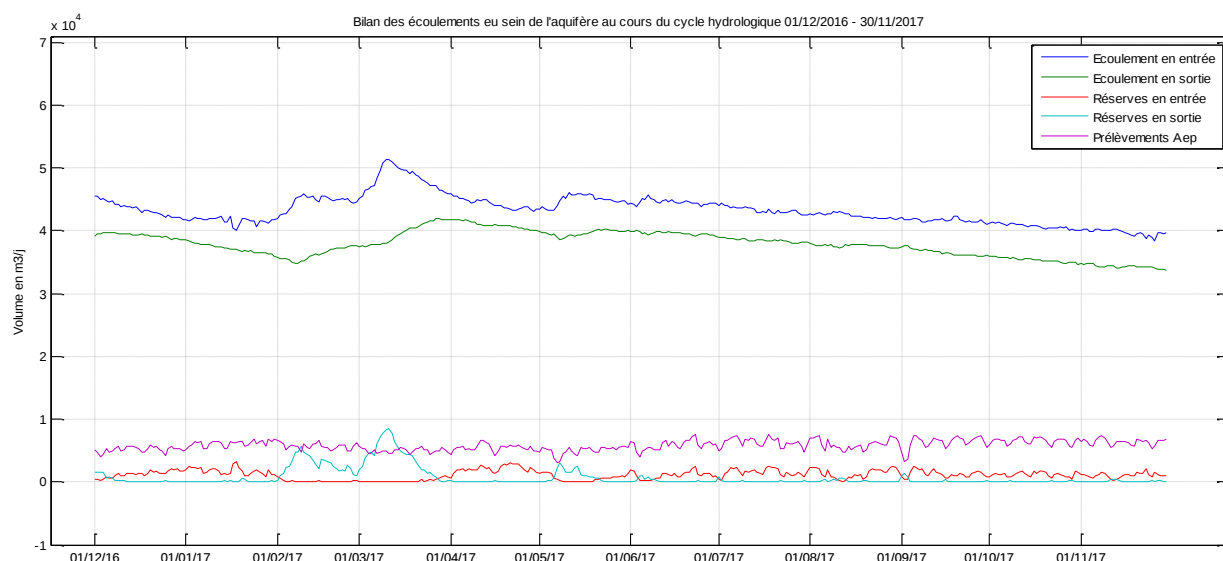
Nom de la limite	Cycle hydrologique 01/12/2016 – 01/12/2017	Cycle hydrologique 01/12/2017 – 01/12/2018.
Volume en entrée (m3/an)	+15 807 417	+17 666 388
Apport des réserves (m3/an)	+415 658	+680 130
Total des entrées (m3/an)	16 223 076	18 346 517
Volume écoulé vers l'Arve (m3/an)	13 848 390	15 631 876
Volume prélevé pour Aep (m3/an)	-2 125 353	1 996 701
Volume déstocké (m3/an)	252 533	687 560
Total des sorties	16 226 280	18 354 437
Différence entrée sortie (m3 /an)	-3 204	7 418
Différence en %	-0.02 %	+0.04 %
% des volumes annuels prélevés / volumes écoulés vers l'Arve.	15 %	13 %

Tableau 7-1 Bilan des cycles hydrologiques 01/12/2016 - 30/11/2017 et 01/12/2017 et 30/11/2018.

La Figure 7-1, page 35, et la Figure 7-2, page 35, illustre l'évolution journalière modélisée des entrées et des sorties au sein de l'aquifère.

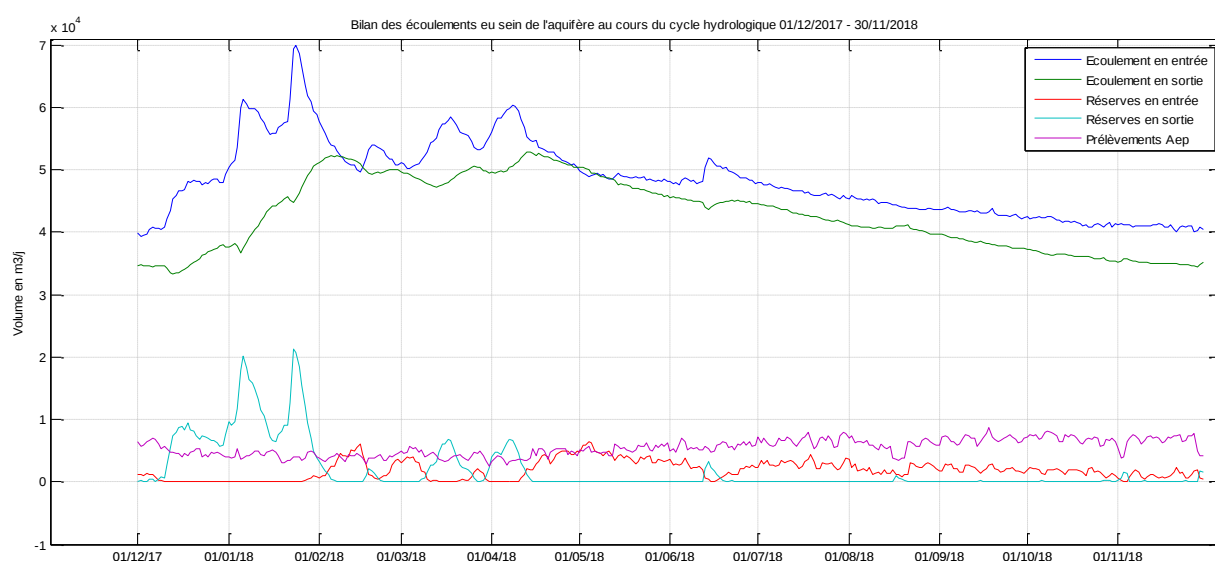
Communauté de communes du Pays Rochois. Mise à jour du modèle numérique de nappe du Cône de déjection du Borne.

Figure 7-1 Bilan journalier des écoulements au sein de l'aquifère au cours du cycle hydrologique 01/12/2016-30/11/2017. Volumes calculés par le modèle.



Communauté de communes du Pays Rochois. Mise à jour du modèle numérique de nappe du Cône de déjection du Borne.

Figure 7-2 Bilan journalier des écoulements au sein de l'aquifère au cours du cycle hydrologique 01/12/2017-30/11/2018. Volumes calculés par le modèle.



7.2. FLUX TRANSITANT DANS L'AQUIFERE A L'ECHELLE MENSUELLE.

Les tableaux suivant et la Figure 7-3, page 36 synthétisent les principaux paramètres statistiques décrivant les valeurs de débits potentiellement mobilisables, groupés par mois ; au cours des cycles hydrologiques 01/12/2016-30/11/2017 et 01/12/2017- 30/11/2028.

m3/j	Janv	Fév	Mars	Avr	Mai	juin	Juill	Août	Sept	Oct	Nov	Déce
Moyenne	37 222	36 287	39 684	40 948	39 642	39 615	38 502	37 653	36 581	35 390	34 328	39 269
Médiane	37 159	36 245	39 804	40 835	39 707	39 620	38 471	37 710	36 528	35 406	34 300	39 389
Mini	36 029	34 825	37 379	40 079	38 608	39 206	38 061	37 184	35 916	34 703	33 760	38 548
Max	38 524	37 713	41 970	41 810	40 202	40 025	38 999	38 062	37 647	35 968	34 840	39 758
Ecart type	681	951	1 673	548	460	206	259	218	516	337	276	355

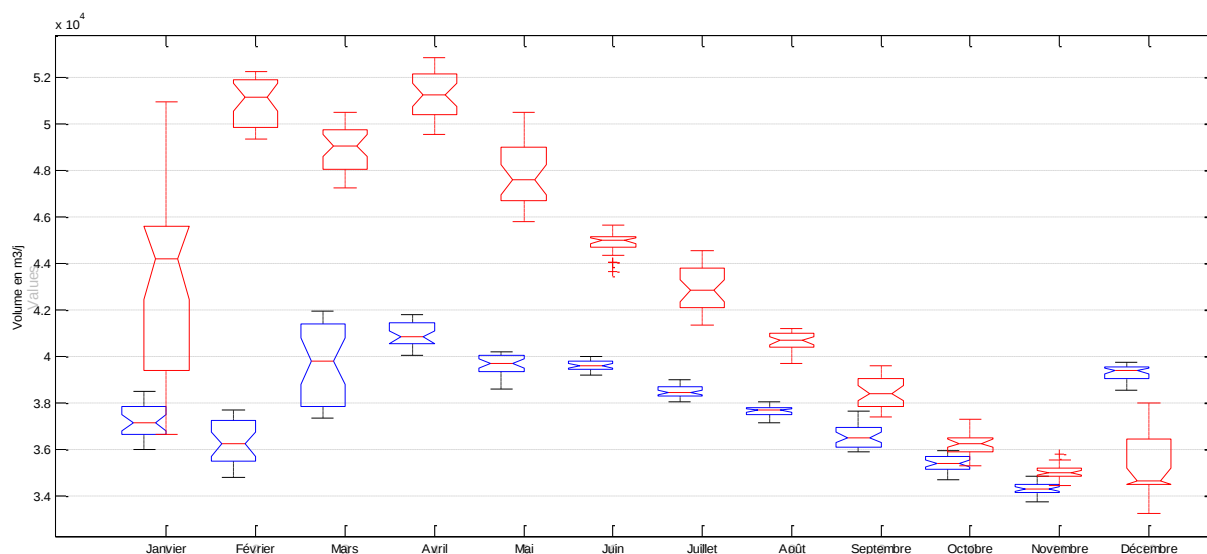
Tableau 7-2. Principaux paramètres statistiques décrivant les valeurs des débits mensuels mobilisables au cours du cycle hydrologique 01/12/2016-30/11/2017.

m3/j	Janv	Fév	Mars	Avr	Mai	juin	Juill	Août	Sept	Oct	Nov	Déce
Moyenne	43 318	50 878	48 960	51 234	47 876	44 914	42 959	40 640	38 408	36 273	35 074	35 249
Médiane	44 217	51 161	49 066	51 252	47 617	44 986	42 839	40 698	38 427	36 273	35 028	34 664
Mini	36 686	49 341	47 268	49 549	45 783	43 650	41 375	39 718	37 408	35 302	34 467	33 270
Max	50 941	52 266	50 524	52 845	50 481	45 635	44 537	41 203	39 622	37 323	35 820	37 994
Ecart type	4 180	1 079	1 020	1 055	1 450	455	948	424	700	515	312	1 425

Tableau 7-3. Principaux paramètres statistiques décrivant les valeurs des débits mensuels mobilisables au cours du cycle hydrologique 01/12/2017-30/11/2018.

Communauté de communes du Pays Rochois. Mise à jour du modèle numérique de nappe du Cône de déjection du Borne.

Figure 7-3 Principaux paramètres statistiques décrivant les volumes journaliers mobilisables, groupés par mois, aux cours des cycles hydrologiques 01/12/2016-30/11/2017 et 01/12/2017-30/11/2018.



Couleur bleu : cycle hydrologique : 01/12/2016-30/11/2017.

Couleur rouge : cycle hydrologique : 01/12/2017-30/11/2018.

8. INFLUENCE DES PRELEVEMENTS FUTURS.

Le schéma directeur d'alimentation en eau potable de la Communauté de Communes du Pays Rochois, réalisé en 2022, a défini les volumes journaliers nécessaires à l'alimentation en eau potable pour les 20 prochaines années.

Les propositions, pour compenser les besoins futurs, sont basées sur une augmentation des prélèvements effectués dans la nappe du cône de déjection du Borne avec les valeurs et la répartition suivantes :

Nom de l'ouvrage	Jour moyen (m3/j)	Jour de pointe (m3/j)
Puits de Bajolet	2 138	3 235
Forage de Blandet	1 000	1 000
Forage de Passeirier	4 246	6 575
Forage des Vorziers	4 200 (estimation)	6 000 (estimation)

Nom de l'ouvrage	Jour moyen (m3/j)	Jour de pointe (m3/j)
Total (en m3/j)	11 584	16 810
Total (en m3/an)	2 695 160	3 543 500 (sur la base d'un débit de pointe d'une durée de 3 mois)

Tableau 8-1. Tableau des volumes de prélèvements projetés pour l'alimentation en eau potable future.

En référence aux volumes de recharge interannuels de l'aquifère (présentés au paragraphe 7, page 33), les plus faibles observés, les prélèvements pour l'Aep future représentent respectivement 20% et 25% des volumes annuels transitant dans l'aquifère (13 848 390 m3), 28% et 42% des volumes journaliers (41 000 m3). Ils paraissent donc, à l'échelle annuelle, cohérents. Il n'est cependant pas certain que les ouvrages actuels soient en capacité d'intercepter les débits instantanés souhaités, pour des raisons techniques (caractéristiques hydrodynamiques des ouvrages) et administratives ; raisons présentées dans le tableau ci-dessous :

	Forage de Passeirier	Forage Blandet	Bajolet puits actuel	Forage Bajolet
Pompages d'essai	300 m3/h ou plus ? Voir étude pompage d'essai 1996. CGE.	70 m3/h avec faible rabattement.	Limité à ~ 100 m3/h	70 m3/h avec faible rabattement
Débit moyen futur	177 m3/h. Ok	42 m3/h. Ok	90 m3/h Ok mais tendu.	Possibilité de 90 à 100 m3/h à confirmer par pompage d'essai.
Débit futur de pointe	273 m3/h. Ok, mais problèmes potentiels de turbidité. A confirmer.	42 m3/h. Ok	135 m3/h. Pas possible en périodes sèches.	Possible à confirmer par pompage d'essai.

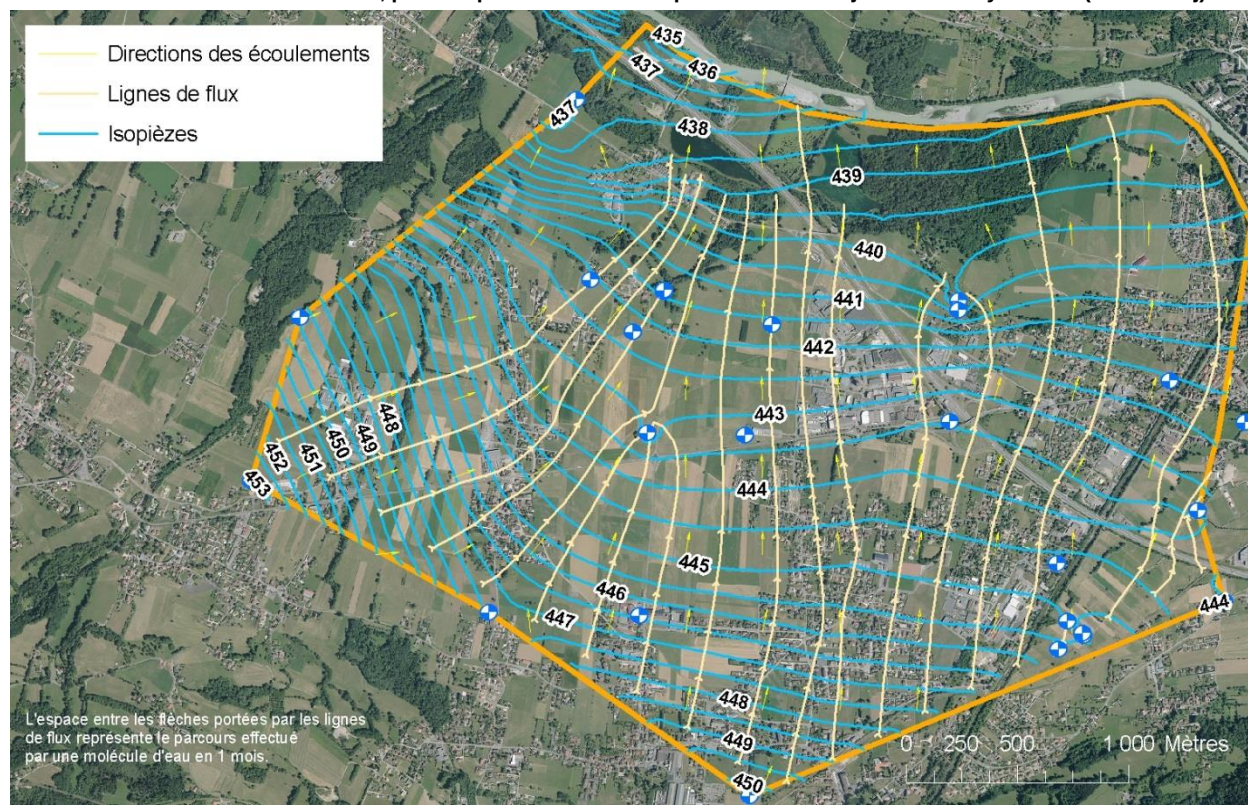
L'incidence de ces prélèvements, en régime permanent, sur l'organisation des écoulements au sein de l'aquifère est présenté sur la Figure 8-1, page 38 et la Figure 8-2, page 38, pour une situation correspondant à la situation du 08/12/2017.

En comparaison avec la Figure 4-1, page 25, représentant les écoulements au sein de l'aquifère, au 08/12/2017, l'organisation générale des écoulements n'est pas perturbée ; des modifications locales sont cependant présentes et portent sur :

- l'étalement du cône d'appel du forage de Passeirier : la largeur voisine de 500 mètres, à ce jour, est voisine de 850 mètres pour les prélèvements journaliers moyens futurs et voisine de 1 200 mètres pour les prélèvements de pointe ;
- une diminution du temps de transit des eaux entre la limite amont de l'aquifère et le forage de Passeirier de 4 mois pour les prélèvements actuels à moins de trois mois pour les prélèvements de pointe futurs ;
- une contribution plus importante de la bordure Ouest de l'aquifère dans l'alimentation du forage de Blandet ;
- une contribution plus importante de la bordure Est de l'aquifère dans l'alimentation du forage de Bajolet.

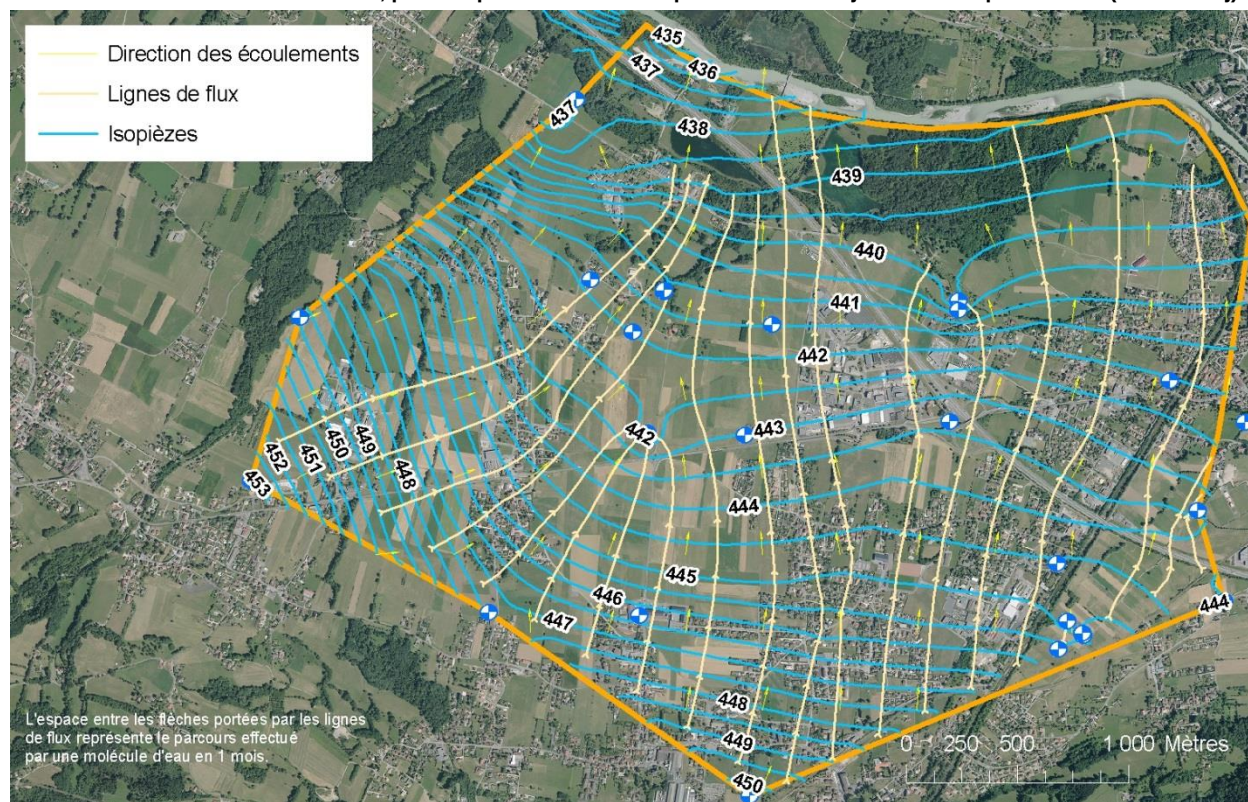
Communauté de communes du Pays Rochois. Mise à jour du modèle numérique de nappe du Cône de déjection du Borne.

Figure 8-1 Caractérisation des écoulements en période de basses eaux, en régime permanent correspondant à celui observé le 08/12/2017, pour un prélèvement correspondant au débit journalier moyen futur (11 584m³/j).



Communauté de communes du Pays Rochois. Mise à jour du modèle numérique de nappe du Cône de déjection du Borne.

Figure 8-2 Caractérisation des écoulements en période de basses eaux, en régime permanent correspondant à celui observé le 08/12/2017, pour un prélèvement correspondant au débit journalier de pointe futur (16 810 m³/j).



9. CONSEQUENCES POSSIBLES DU CHANGEMENT CLIMATIQUE.

L'évolution du changement climatique présentée par Météo France sur le portail DRIAS sera en moyenne, dans notre région, vis-à-vis des précipitations, marquée par un cumul de précipitations annuel peu différent de celui observé mais avec un régime perturbé. Les précipitations seront plus abondantes en hiver, avec une diminution de l'épaisseur du manteau neigeux, moins abondantes en période automnale.

La modification de ce régime, conjugué à l'augmentation des températures moyennes aura pour conséquence une augmentation de la durée des phases de tarissement des cours d'eau et donc de la recharge de l'aquifère, de un à deux mois, au cours de la période automnale.

Ces conditions météorologiques ont été observées au cours des cycles hydrologiques 2016-2017 et 2017-2018. Etant donné, le fonctionnement de l'aquifère, il est raisonnable d'envisager, pour des conditions hydrologiques plus sévères, que le flux aux limites de l'aquifère suivra, pour des durées plus longues que celles relevées, la tendance observée en fin de période de tarissement.

L'extrapolation à trois mois de la courbe de tarissement du débit fourni par les limites alimentant l'aquifère et calculé par le modèle permet une approche des conséquences du changement de régime hydrologique prévu.

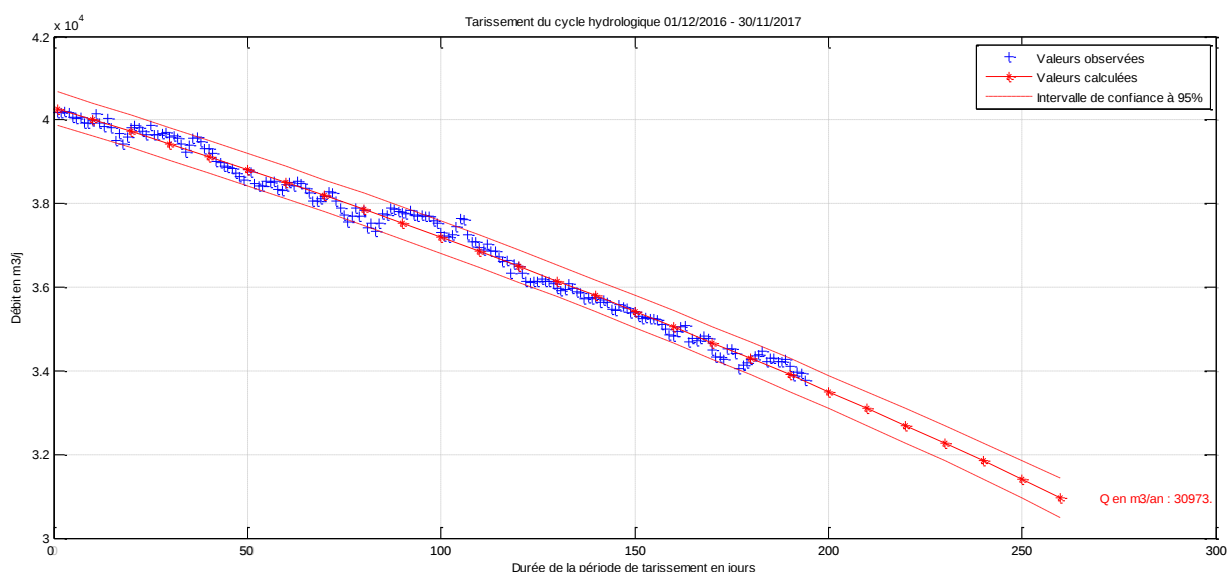
La Figure 9-1, page 39, et la Figure 9-2, page 40, présentent l'évolution de la courbe de tarissement du débit des limites calculé par le modèle observé au cours des étiages des cycles hydrologiques 01/12/2016-30/11/2017 et 01/12/2017-30/11/2018.

La valeur de débit journalier observé après 260 jours (+3 mois par rapport à la durée des étiages observés) de tarissement sont comprises entre 31 000 m³ pour le cycle 2017 et 32 400 m³ pour le cycle 2018.

Ces valeurs restent supérieures aux valeurs des prélèvements journaliers moyens (11 584 m³/jour) et aux valeurs des prélèvements journaliers de pointe (17 000 m³) projetés pour assurer l'alimentation en eau potable future, mais dans une fourchette qui reste cependant modeste : les prélèvements journaliers moyens projetés représentent respectivement 36% de la moyenne des volumes extrapolés ; les prélèvements de pointe journaliers 53%.

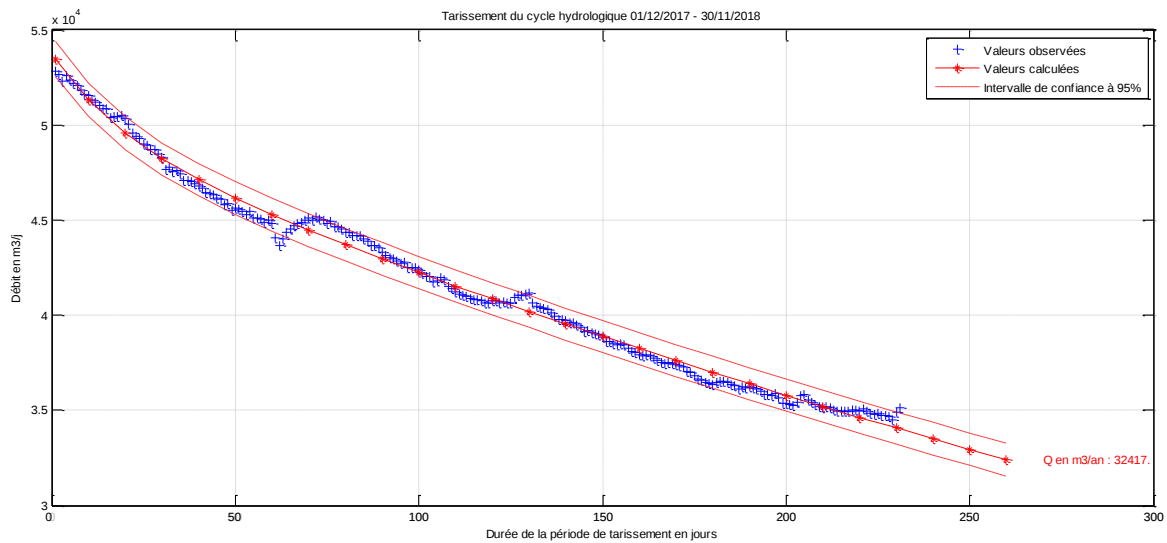
Communauté de communes du Pays Rochois. Mise à jour du modèle numérique de nappe du Cône de déjection du Borne.

Figure 9-1 Débit d'alimentation de l'aquifère après une période de tarissement de 170 jours environ (+ 90 jours / la durée de la période de tarissement observée au cours du cycle hydrologique 01/12/2016 – 30/11/2017. Extrapolation.



Communauté de communes du Pays Rochois. Mise à jour du modèle numérique de nappe du Cône de déjection du Borne.

Figure 9-2 Débit d'alimentation de l'aquifère après une période de tarissement de 240 jours environ (+ 30 jours / la durée de la période de tarissement observée au cours du cycle hydrologique 01/12/2017 – 30/11/2018. Extrapolation.



10. PROPOSITIONS ET SUGGESTIONS.

La modélisation du comportement hydrodynamique de l'aquifère du cône de déjection du Borne, sur la base des données actuelles, permet d'apprécier différents paramètres indispensables à la gestion et à la protection de cette ressource en eau, stratégique pour l'alimentation en eau potable des habitants de la basse vallée de l'Arve.

La modélisation proposée repose sur 26 années d'observations, sur 17 ouvrages, suivis régulièrement, au pas horaire. Cependant, comme remarqué au paragraphe n°2.3, page 13, le modèle utilise comme conditions aux limites des conditions de potentiel. L'utilisation unique de limites de potentiel sur le pourtour d'un aquifère modélisé peut cependant être source d'erreur, puisque source d'alimentation ou de drainage potentiellement infinie.

La précision du calage du modèle proposé repose sur la cohérence entre les valeurs calculées par le modèle en entrée et en sortie de l'aquifère et la valeur de mesures ponctuelles de débits en entrée mesurées sur le Borne et en sortie sur le Brachouet. La cohérence des valeurs autorisent à considérer les valeurs issues du modèle comme représentatives d'ordre de grandeur. Si une précision supplémentaire doit être recherchée :

- des mesures plus poussées et plus nombreuses (voire en continu) du débit du Brachouet devront être mises en œuvre ;
- les relations entre le Borne et l'aquifère devront être précisées par des mesures de débit plus poussées et plus nombreuses entre le débouché de la rivière dans la plaine et sa confluence avec l'Arve ou par la mise en place de piézomètres peu profonds de part et d'autre du lit de la rivière.

Les prélèvements moyens annuels projetés représentent 25% environ des volumes annuels écoulés par l'aquifère lors du cycle hydrologique le plus sévère observé depuis 2003 ; les prélèvements journaliers moyens et de pointe 28% et 42% des débits journaliers observés à la fin de la période d'étiage de ce même cycle.

Ces pourcentages sont relativement importants. Les débits calculés transitant dans l'aquifère restent cependant compatibles avec les prélèvements projetés pour l'alimentation en eau potable.

Les prélèvements futurs de pointe (6 500 m³/j) seront, pour le forage de Passeirier, proches du débit critique de l'ouvrage (300 m³/h). Pour rappel, dans le passé, une turbidité supérieure au seuil réglementaire a été observée pour des débits d'exploitation proches de cette valeur. La réalisation d'un pompage d'essai de puits à des valeurs de débits correspondant aux valeurs futures projetées est conseillée pour conforter les orientations du schéma directeur.

Les prélèvements futurs de pointe sur le puits de Bajolet (3 235 m³/j) ne pourront pas être assurés. Le dénoyage des pompes a été observé par le passé (2006) pour des débits inférieurs. La modélisation des écoulements fait également apparaître la vulnérabilité à long terme de ce point de prélèvement vis-à-vis de la zone d'activité économique située dans le périmètre de protection rapprochée, dans la mesure où, pour l'alimentation en eau potable, des polluants potentiels, doivent être absents à des concentrations très faibles. La collectivité a tout intérêt à déplacer cet ouvrage dans la partie amont de l'aquifère, dans le secteur des Mollettes où des travaux de reconnaissance avaient été entrepris.

Les lignes de flux ou de courant au sein de l'aquifère, illustrées par le modèle, permettent d'apprécier les aires d'alimentation des ouvrages utilisés pour l'alimentation en eau potable. Ces aires sont comprises en partie dans les périmètres de protection rapprochée de ces ouvrages et en partie ou en totalité dans les périmètres de protection éloignée. La nappe contenue dans le cône de déjection du Borne est une nappe stratégique pour l'alimentation en eau potable de la population actuelle et future de la basse vallée de l'Arve. A ce titre la collectivité doit tout mettre en œuvre pour garantir la pérennité de la qualité de l'eau mobilisée par les ouvrages de production actuels et futurs.

La pression foncière liée à l'urbanisation dans la plaine est importante. Pour garantir la qualité chimique des eaux vis-à-vis des contaminations liées à l'usage des pesticides, de leurs métabolites et des molécules chimiques indestructibles s'accumulant dans le milieu naturel, la collectivité aurait tout intérêt à :

- définir les zones de sauvegarde permettant de garantir la qualité des eaux des ouvrages exploités et les zones à protéger pour permettre aux générations futures l'implantation de nouveaux points de prélèvements ;
- intégrer dans les SCOT, PLU, PLUI, arrêtés préfectoraux, selon les recommandations du guide technique du SDAGE "Identifier et préserver les ressources stratégiques pour l'alimentation en eau potable", les règles à respecter dans ces zones pour garantir la disponibilité pérenne d'une eau naturellement potable.

Alban Falconnet
Ph. Rousset
Novembre 2024.



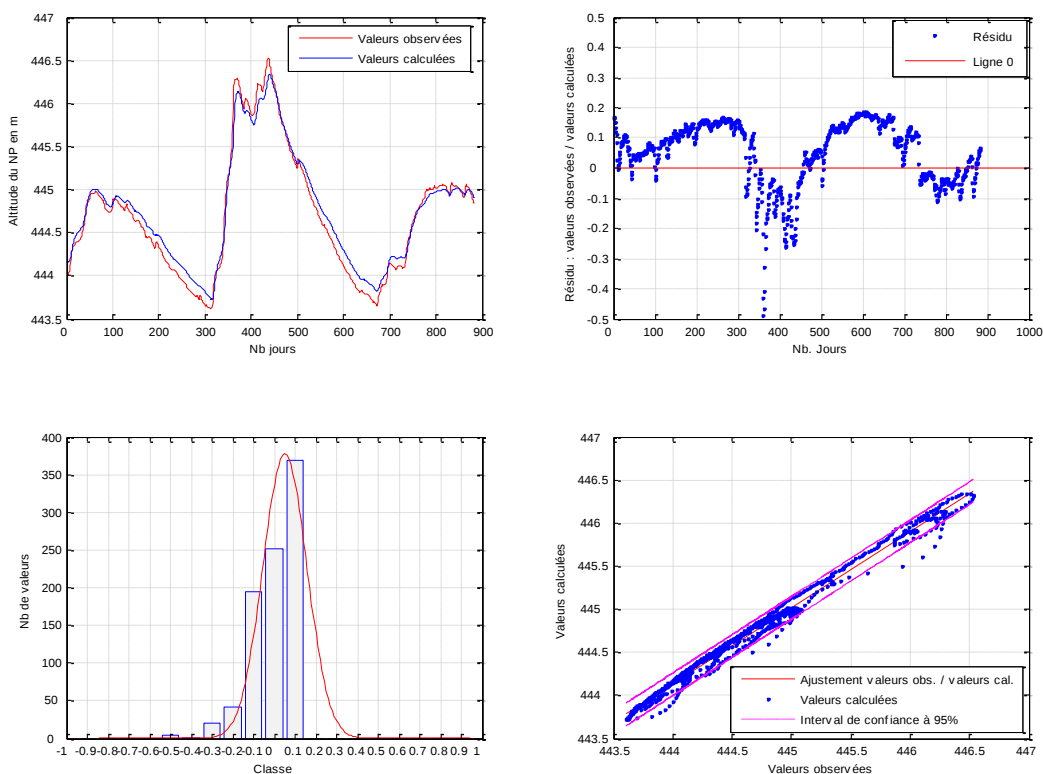
11. ANNEXES. CALAGE DU MODELE.

Ce paragraphe présente les différents paramètres permettant d'apprécier la validité du calage retenu.

11.1. FORAGE DE L'AUTOROUTE.

Nb de valeurs.	883
Résidu maximum	0.18
Résidu minimum	-0.48
Résidu moyen	0.05
Moyenne, valeur absolue	0.1
Erreur standard de l'estimation (SSE)	0.035
Root mean square	0.17
Normalize Root Mean Square.	0.04
Coefficient de corrélation	0.98
Nb de valeurs non comprises dans l'intervalle de confiance à 95%.	27
% de valeur non comprises dans l'intervalle de confiance à 95 %	3 %

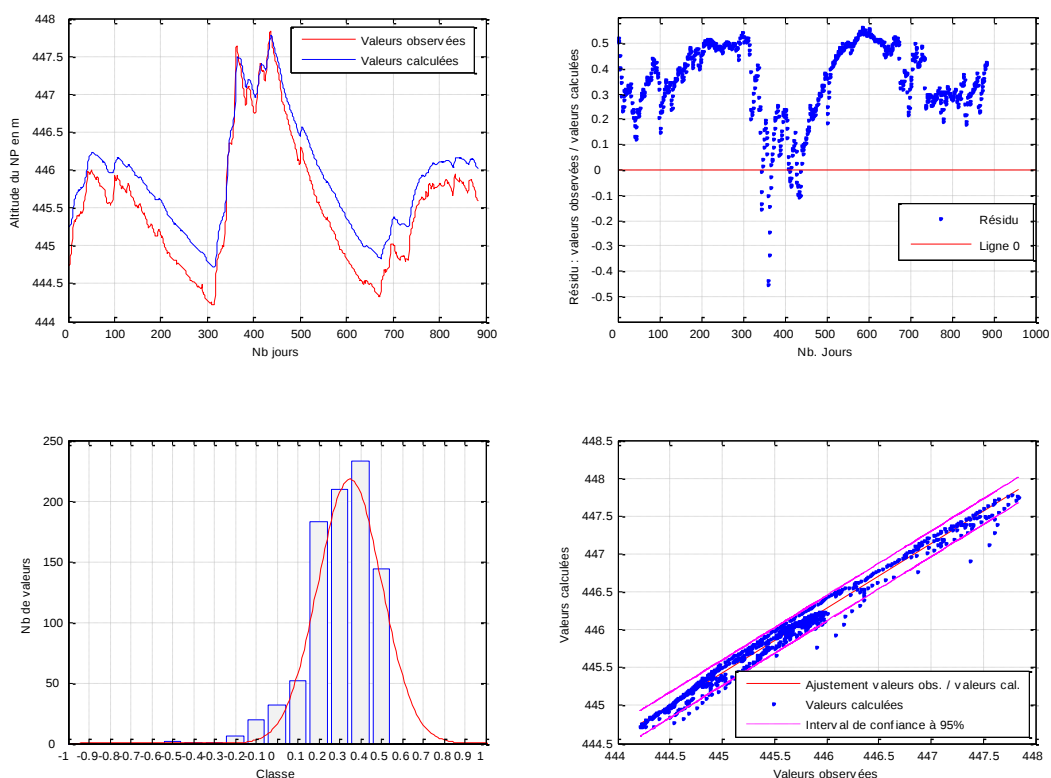
Communauté de communes du Pays Rochois. Mise à jour du modèle numérique de nappe du Cône de déjection du Borne.
Figure 11-1. Forage de l'Autoroute.



11.2. PIEZOMETRE DE BORNETTE.

Nb de valeurs.	883
Résidu maximum	0.56
Résidu minimum	-0.45
Résidu moyen	0.34
Moyenne, valeur absolue	0.35
Erreur standard de l'estimation (SSE)	0.005
Root mean square	0.38
Normalize Root Mean Square	0.10
Coefficient de corrélation	0.98
Nb de valeurs non comprises dans l'intervalle de confiance à 95%.	27
% de valeur non comprises dans l'intervalle de confiance à 95 %	3%

Communauté de communes du Pays Rochois. Mise à jour du modèle numérique de nappe du Cône de déjection du Borne.
Figure 11-2. Forage de Bornette.

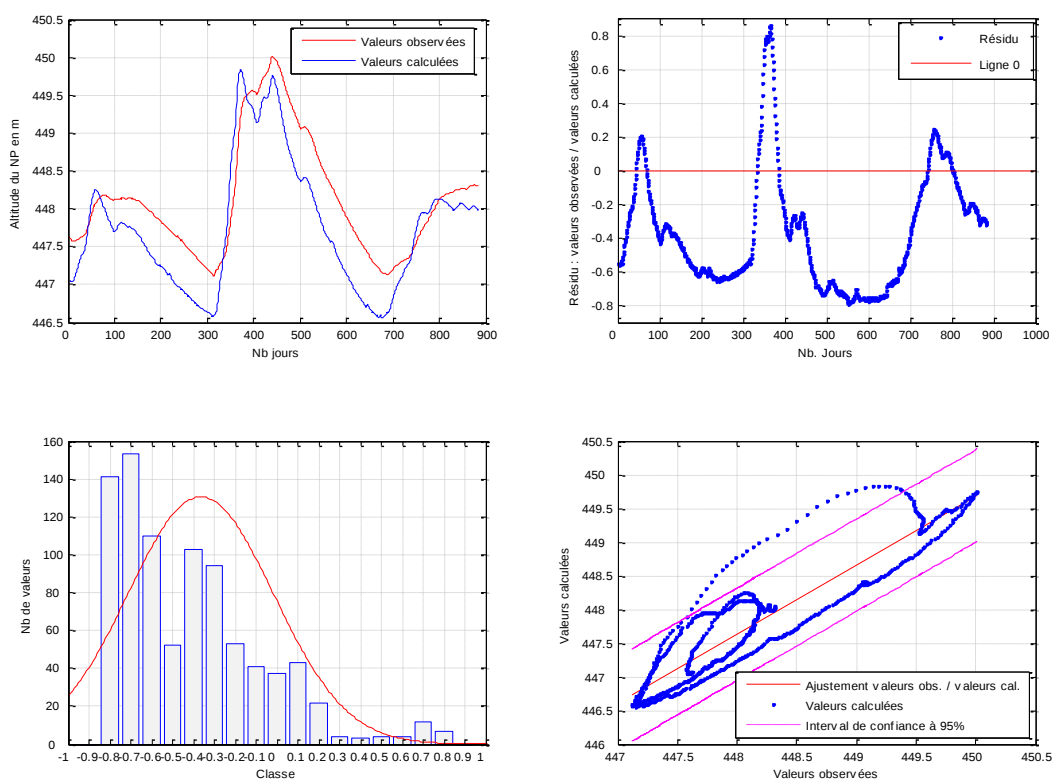


11.3. PIEZOMETRE DES GRANDS CHAMPS

Nb de valeurs.	883
Résidu maximum	0.83
Résidu minimum	-0.78
Résidu moyen	-0.36
Moyenne, valeur absolue	0.44
Erreur standard de l'estimation (SSE)	0.018
Root mean square	0.50
Normalize Root Mean Square	0.17
Coefficient de corrélation	0.83
Nb de valeurs non comprises dans l'intervalle de confiance à 95%.	33
% de valeur non comprises dans l'intervalle de confiance à 95 %	4 %

Communauté de communes du Pays Rochois. Mise à jour du modèle numérique de nappe du Cône de déjection du Borne.

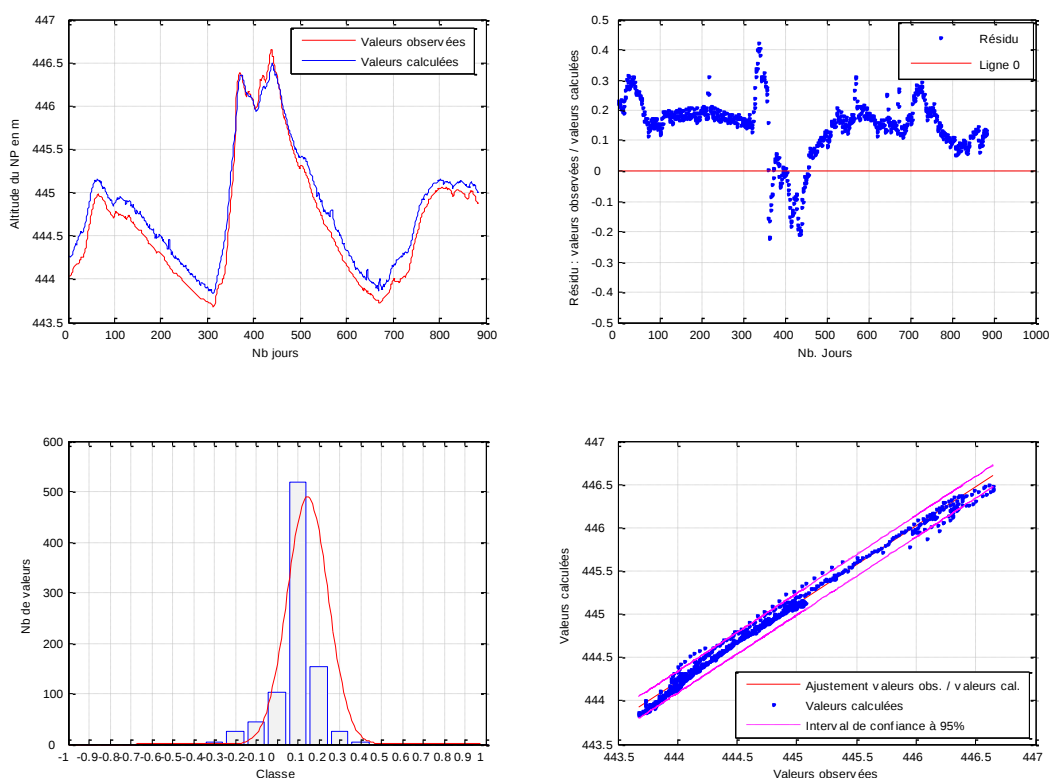
Figure 11-3. Piézomètre des Grands Champs.



11.4. PIEZOMETRE DES LAQUETS.

Nb de valeurs.	883
Résidu maximum	0.42
Résidu minimum	-0.22
Résidu moyen	0.14
Moyenne, valeur absolue	0.16
Erreur standard de l'estimation	0.003
Root mean square	0.17
Normalize Root Mean Square.	0.05
Coefficient de corrélation	0.99
Nb de valeurs non comprises dans l'intervalle de confiance à 95%.	52
% de valeur non comprises dans l'intervalle de confiance à 95 %	6 %

Communauté de communes du Pays Rochois. Mise à jour du modèle numérique de nappe du Cône de déjection du Borne.
Figure 11-4. Piézomètre des Laquets.

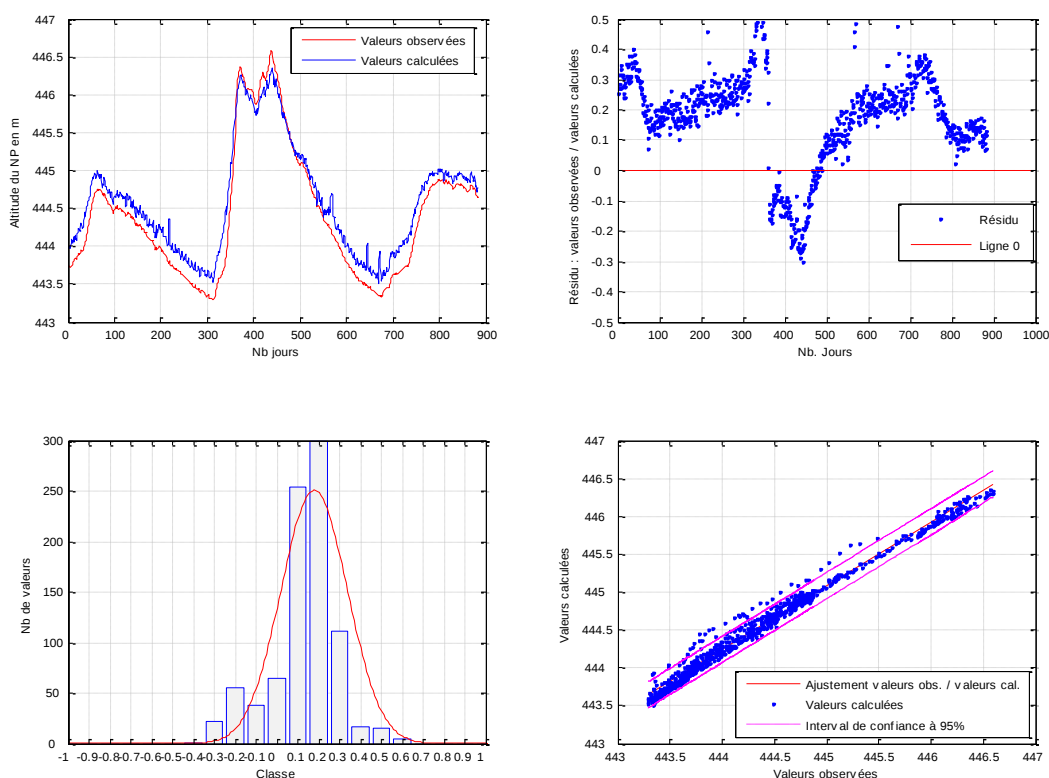


11.5. PIEZOMETRE DE PASSEIRIER.

Nb de valeurs.	883
Résidu maximum	0.67
Résidu minimum	-0.30
Résidu moyen	0.17
Moyenne, valeur absolue	0.21
Erreur standard de l'estimation	0.005
Root mean square	0.23
Normalize Root Mean Square	0.07
Coefficient de corrélation	0.98
Nb de valeurs non comprises dans l'intervalle de confiance à 95%.	43
% de valeur non comprises dans l'intervalle de confiance à 95 %	5 %

Communauté de communes du Pays Rochois. Mise à jour du modèle numérique de nappe du Cône de déjection du Borne.

Figure 11-5. Piézomètre de Passeirier.



11.6. PIEZOMETRE DE RAVURE SUD.

Nb de valeurs.	883
Résidu maximum	0.44
Résidu minimum	-0.17
Résidu moyen	0.19
Moyenne, valeur absolue	0.21
Erreur standard de l'estimation	0.004
Root mean square	0.23
Normalize Root Mean Square	0.08
Coefficient de corrélation	0.99
Nb de valeurs non comprises dans l'intervalle de confiance à 95%.	69
% de valeur non comprises dans l'intervalle de confiance à 95 %	8 %

Communauté de communes du Pays Rochois. Mise à jour du modèle numérique de nappe du Cône de déjection du Borne.

Figure 11-6. Piézomètre de Ravure Sud.

