



Connaissance de l'hydrosystème et aide à la définition de la gestion volumique de la ressource en eau sur le territoire des 4 vallées de Vienne

Phase 2 – Bilan hydrogéologique moyen et
modélisation des écoulements souterrains
(GARDENIA)

Phase 3 – Aide à la définition d'une gestion
volumique de la ressource en eau

Rapport final

BRGM/RP-60771-FR
Février 2012

Connaissance de l'hydrosystème et aide à la définition de la gestion volumique de la ressource en eau sur le territoire des 4 vallées de Vienne

Rapport final
BRGM/RP-60771-FR
Février 2012

Étude réalisée dans le cadre des projets
de Service public du BRGM 2010 10EAUUK65

A. BRENOT
Avec la collaboration de
D. THIERY

Vérificateur :

Nom : Jean-Claude MARTIN

Date : 6 février 2012

Signature :

Approbateur :

Nom : Yves SIMEON

Date : 9/02/2012

Signature :

En l'absence de signature, notamment pour les rapports diffusés en version numérique,
l'original signé est disponible aux Archives du BRGM.

Le système de management de la qualité du BRGM est certifié AFAQ ISO 9001:2008.

Mots clés : Eaux souterraines, gestion volumique, bilan données, modélisation, GARDENIA, 4 Vallées, Bas Dauphiné, Isère, Rhône Alpes

En bibliographie, ce rapport sera cité de la façon suivante :

BRENOT A., THIERY D. (2012). Connaissance de l'hydrosystème et aide à la définition de la gestion volumique de la ressource en eau sur le territoire des 4 Vallées de Vienne. Rapport final BRGM/RP-60771-FR. 127 p., 41 ill. 5 ann.

Synthèse

Dans la perspective des études engagées par l'AERMC, en application des décisions du SDAGE Rhône-Méditerranée, sur la détermination des volumes maximums prélevables dans le bassin Rhône-Méditerranée, la DREAL et le BRGM ont réalisé une étude visant à améliorer la connaissance des ressources en eaux souterraines du territoire des 4 Vallées du Bas Dauphiné, situé dans le département de l'Isère. Cette étude de l'hydrosystème du bassin et de son fonctionnement comporte 3 phases :

- Phase 1 : Acquisition, mise en forme et analyse des données disponibles ;
- Phase 2 : Bilan hydrogéologique moyen et modélisation globale des écoulements (GARDENIA) pour le territoire des 4 Vallées du Bas Dauphiné ;
- Phase 3 : Aide à la définition d'une gestion volumique de la ressource en eau sur le territoire des 4 Vallées du Bas Dauphiné.

La phase 1 a fait l'objet d'un premier rapport (rapport BRGM/RP-59220-FR), en date de décembre 2010. Le présent rapport synthétise les résultats des phases 2 et 3 de l'étude.

La synthèse des connaissances existantes et la modélisation des écoulements, suivant une approche globale (modèle GARDENIA), ont permis d'améliorer la connaissance du fonctionnement hydraulique de l'aquifère des alluvions fluvio-glaciaires, principale ressource en eau souterraine sur le bassin versant des 4 Vallées. Les principaux résultats à retenir sont que cet aquifère présente un temps de réponse relativement court vis-à-vis des recharges saisonnières, aussi les conditions hydro-climatologiques de l'année hydrologique en cours exercent un important contrôle sur les niveaux piézométriques observés. Compte tenu des conditions de pluviométrie et des prélèvements en eau actuels, aucun déficit chronique significatif n'est observé sur les eaux souterraines de l'aquifère des alluvions fluvio-glaciaires. L'importance des relations nappe/rivière a été précisée, sans qu'il ne soit possible, compte tenu des données existantes, de quantifier précisément les flux de ces relations. En amont du bassin, les eaux des rivières s'infiltrent vers l'aquifère des alluvions fluvio-glaciaires contribuant probablement de manière indirecte à l'alimentation des aquifères (l'écoulement rapide ou direct des eaux de rivières vers les eaux souterraines étant a priori négligeable). Sur la partie aval du bassin, on observe un drainage de l'aquifère des alluvions fluvio-glaciaires par les rivières (la remontée du substratum cristallin constituant sur ce secteur un obstacle aux écoulements souterrains). Nous avons cherché à quantifier les différents termes du bilan hydrogéologique de l'hydrosystème pour l'année hydrologique moyenne 2003-2004. Au moins deux termes importants ne peuvent être précisément quantifiés : le flux des relations nappe/rivière, et le flux des échanges entre l'aquifère des alluvions fluvio-glaciaires et l'aquifère de la molasse sous-jacente. En l'absence de quantification précise de ces flux, le volume maximum qui peut être prélevé sur les eaux souterraines, tout en garantissant l'équilibre hydrodynamique des aquifères, ne peut être actuellement évalué précisément.

Ce travail a permis également d'améliorer les connaissances sur l'impact des prélèvements d'eau sur l'hydrosystème. Les prélèvements d'eaux souterraines (hors nappe d'accompagnement des rivières) peuvent avoir un impact sur le débit des rivières principalement sur les secteurs avals des vallées de la Sévenne, de la Véga et de la Gère. Une estimation du « gain » de débit des rivières que l'on pourrait obtenir, dans l'hypothèse où tous les prélèvements en eaux souterraines seraient arrêtés, a été proposée à partir des simulations réalisées dans cette étude. Ce gain estimé dépend bien évidemment de l'ampleur des pressions existantes sur les prélèvements, et ne dépasserait pas, pour la Véga aval et la Gère aval, 20% du débit de ces rivières à l'étiage. Pour l'aquifère des alluvions fluvio-glaciaires, seuls les prélèvements d'eaux souterraines ont a priori un impact sur les niveaux piézométriques observés. Cet impact reste globalement faible mais les résultats obtenus dans le cadre de cette étude présentent un caractère global. Il est possible que les prélèvements d'eaux souterraines puissent localement entraîner une baisse des niveaux piézométriques suffisamment importante pour être à l'origine de conflits entre les différents usages des ressources en eau. Seule la mise en place d'un modèle hydrogéologique maillé permettrait d'apporter des réponses en donnant accès à des informations spatialisées. En l'état actuel des connaissances, les mécanismes régissant le fonctionnement et les connexions entre les niveaux aquifères et les rivières restent insuffisamment contraints pour permettre l'élaboration d'un tel modèle.

Malgré les incertitudes qui demeurent sur l'estimation du bilan hydrologique moyen sur le bassin, il est possible, à partir des connaissances actuelles, d'élaborer de nouvelles propositions sur la gestion volumique de la ressource en eau sur le territoire des 4 Vallées. L'objectif de ce travail est de tendre vers une gestion quantitative des ressources en eau en évitant d'avoir recours de manière « chronique » au déclenchement des arrêtés « sécheresse » comme c'est le cas actuellement sur le bassin. Compte tenu des résultats obtenus dans le cadre de cette étude (aucun déficit chronique significatif n'est observé sur les eaux souterraines, ni actuellement, ni après la simulation de 4 années successives de type « année hydrologique moyenne 2003-2004 »), les prélèvements actuels ne semblent pas engendrer un déficit significatif sur les eaux souterraines. A partir de ce constat, et en l'attente d'acquérir de nouvelles connaissances sur le bilan hydrologique global du système, le volume autorisé au prélèvement pour les eaux souterraines, par principe de précaution, pourrait être égal au volume actuellement prélevé (≈ 12 millions de m^3 sur tout le bassin). Pour compléter cette proposition, des recommandations peuvent être formulées afin d'améliorer le dispositif de suivi actuel de la ressource. Il est notamment proposé d'adapter le dispositif d'alerte actuel pour les eaux souterraines en intégrant une étape dite « d'évaluation de la situation hydro-climatologique ». A partir de deux critères simples : le cumul de la pluie efficace depuis le 1^{er} septembre, et le niveau piézométrique mesuré pour l'année en cours sur des points de référence, le risque de sécheresse peut être évalué avant les mois d'avril-mai (fin de période des pluies efficaces d'hiver), afin d'engager, dans les meilleurs délais, les mesures nécessaires pour empêcher une dégradation de la quantité des ressources en eau.

Enfin, il est présenté dans ce rapport des étapes d'acquisition de connaissances supplémentaires et nécessaires pour déterminer précisément le volume maximum

prélevable sur les eaux souterraines, qui reste un des éléments majeurs pour une bonne gestion de la ressource en eau du territoire des 4 Vallées.

Sommaire

1. Introduction	13
2. Synthèse des connaissances acquises lors des phases antérieures	15
2.1. RECHARGE	15
2.2. HYDROSYSTEME	15
2.2.1. Présentation de l'hydrosystème.....	15
2.2.2. Données utilisées	17
2.2.3. Exploitation des chroniques piézométriques.....	19
2.2.4. Exploitation des chroniques de débit	21
2.3. ACTIVITES ANTHROPIQUES IMPACTANT POTENTIELLEMENT L'HYDROSYSTEME	21
3. Modélisation GARDENIA	23
3.1. PRINCIPE ET INTERET DE LA MODELISATION GARDENIA	23
3.2. DONNEES D'ENTREE DES MODELISATIONS.....	25
3.2.1. Pluie	25
3.2.2. ETP	26
3.2.3. Prélèvements/Rejets	26
3.3. DONNEES DE SORTIE DES MODELISATIONS	29
3.3.1. Débits.....	29
3.3.2. Niveaux piézométriques	33
3.4. CALAGE DES PARAMETRES DES MODELISATIONS.....	34
3.4.1. Modélisation Pluie-Niveau-Débit.....	35
3.4.2. Modélisation Pluie-Niveau	37
3.5. SIMULATION DE SCENARIOS.....	38
3.5.1. Reconstitution de débits non influencés	40
3.5.2. Evaluation de l'influence d'une augmentation des prélèvements sur le débit des rivières	43
3.5.3. Reconstitution de niveaux piézométriques non influencés.....	45
3.5.4. Evaluation de l'influence des conditions hydro-climatiques sur les niveaux piézométriques.....	48
4. Caractérisation du fonctionnement hydrogéologique de l'hydrosystème.....	55

4.1. ETAT ACTUEL DES AQUIFERES	55
4.2. INFLUENCE DU CONTEXTE HYDRO-CLIMATOLOGIQUE	55
4.3. RELATIONS NAPPE-RIVIERE.....	55
4.4. BILAN HYDROGEOLOGIQUE MOYEN	56
5. Caractérisation de la réponse de l'hydrosystème aux prélèvements d'eau	61
5.1. CARACTERISATION DE LA REPOSE DES RIVIERES AUX PRELEVEMENTS D'EAU SOUTERRAINE	61
5.2. CARACTERISATION DE LA REPOSE DES AQUIFERES AUX PRELEVEMENTS D'EAU.....	62
6. Propositions concernant la gestion volumique de la ressource en eau	63
6.1. LIMITES DES CONNAISSANCES ACTUELLES.....	63
6.2. RECOMMANDATIONS POUR AMELIORER LE DISPOSITIF DE SUIVI ACTUEL DE LA RESSOURCE	64
6.3. PROPOSITIONS RELATIVES A LA MISE EN PLACE D'UN DISPOSITIF D'ALERTE POUR LES EAUX SOUTERRAINES.....	65
6.3.1. Limites actuelles relatives à la détermination de volumes maximums prélevables pour les eaux souterraines	65
6.3.2. Principe de gestion proposé en l'attente de l'acquisition de nouvelles connaissances	65
6.3.3. Critères d'évaluation de la situation hydro-climatologique	65
6.3.4. Insertion du dispositif d'alerte dans les règles de gestion volumique existantes	73
6.4. DISPOSITIONS DU SDAGE	75
6.4.1. Objectifs de niveau de nappe	75
6.4.2. Volumes maximums prélevables	80
7. Conclusion	83
8. Bibliographie	87

Liste des illustrations

Illustration 1 : Réseau hydrographique principal et localisation des étangs sur le bassin versant des 4 Vallées.	16
Illustration 2 : Coupe géologique de principe perpendiculaire à l'axe des couloirs quaternaires sur le territoire des 4 Vallées.	17
Illustration 3 : Sous-secteurs du territoire des 4 Vallées retenus pour l'étude DREAL/BRGM.	18
Illustration 4 : Profil longitudinal de la vallée de la Véga (orientation NE-SW altitude : facteur d'exagération verticale *20).....	20
Illustration 5 : Localisation des points de prélèvement dans le bassin des 4 Vallées (SOGREAH/ASCONIT, 2011a).....	22
Illustration 6 - Schéma de principe du modèle GARDENIA (schéma le plus fréquent, un seul réservoir souterrain).	23
Illustration 7 : Graphe des doubles cumuls pour les stations Météo France de Luzinay, Saint-Jean-de-Bournay, Bron et Saint-Etienne-Saint-Geoirs.	25
Illustration 8 : Liste synthétique des restrictions imposées sur les prélèvements agricoles effectués sur les eaux de surface et les eaux souterraines entre 2003 et 2008.	27
Illustration 9 : Résumé des critères retenus pour la désagrégation décadaire des données annuelles de prélèvements et de rejets.	29
Illustration 10 : Localisation des stations de mesure de débit opérationnelles et hors service sur le bassin des 4 Vallées (données Banque HYDRO).	30
Illustration 11 : Analyse critique des chroniques de débit disponibles pour les modélisations Pluie-Niveau-Débit GARDENIA.	30
Illustration 12 : Comparaison des chroniques de pluies (a) et de débits de la Véga (b), de la Vésonne (c), sur la période 1990-2010.	32
Illustration 13 : Localisation des points disposant de chroniques piézométriques acquises à un pas de temps régulier et pour une durée d'acquisition supérieures à 5 ans (données BRGM, DREAL, DDT38, Syndicat Rivière 4 Vallées, gestionnaires AEP)	34
Illustration 14 : Calage du modèle GARDENIA Pluie-Niveau-Débit pour les débits de la Véga à Pont-Evêque.	36
Illustration 15 : Calage du modèle GARDENIA Pluie-Niveau-Débit pour les niveaux piézométriques du puits de Lafayette.	36
Illustration 16 : Points de suivi piézométrique représentatif retenus par sous-secteur géographique pour une modélisation GARDENIA dite « Pluie-Niveau».	37
Illustration 17 : Coefficients d'ajustement du calage du modèle GARDENIA pour les points de référence retenus pour les modélisations Pluie-Niveau.....	38
Illustration 18 : Calage du modèle GARDENIA Pluie-Niveau pour les niveaux piézométriques du piézomètre Pz1 associé au puits de Gemens.	38
Illustration 19 : Caractéristiques générales des scénarios retenus pour investiguer les différentes réponses des systèmes hydrogéologiques.	39
Illustration 20 : Simulation du Scénario « Zéro pompage » à partir du modèle GARDENIA Pluie-Niveau-Débit pour les débits de la Véga à Pont-Evêque.	40

Illustration 21 : Points de référence définis dans la phase 2 de l'étude SOGREAH/ASCONIT.	41
Illustration 22 : Résultats de la simulation des scénarios 1 et 2, approche indirecte reprenant le calage du modèle GARDENIA Pluie-Niveau-Débit sur la Véga à Pont-Evêque pour évaluer l'impact des prélèvements d'eaux souterraines sur les points de référence Sev2 et Sev3, Gere3 et Gere4.	43
Illustration 23 : Résultats de la simulation des scénarios 3 à 5, reprenant le calage du modèle GARDENIA Pluie-Niveau-Débit sur la Véga à Pont-Evêque pour évaluer l'impact d'une augmentation des prélèvements d'eaux souterraines sur le débit du point de référence Vega2 (DB2).	44
Illustration 24 : Chroniques de pompage pour les prélèvements d'eaux souterraines situés en amont des points de suivi piézométriques représentatifs de chaque sous-secteur.	46
Illustration 25 : Résultats de la simulation des scénarios 6 à 8, reprenant les calages des modèles GARDENIA Pluie-Niveau pour évaluer quelle serait la piézométrie non influencée de l'aquifère des alluvions fluvio-glaciaires.	47
Illustration 26 : Résultats de la simulation des scénarios 9 et 10, reprenant les calages des modèles GARDENIA Pluie-Niveau pour évaluer quelle serait la piézométrie non influencée de l'aquifère des alluvions fluvio-glaciaires.	48
Illustration 27 : Résultats de la simulation des scénarios 11 à 13, reprenant les calages des modèles GARDENIA Pluie-Niveau pour évaluer quelle serait la piézométrie de l'aquifère des alluvions fluvio-glaciaires en réponse à la répétition de 4 années « sèches » successives.	50
Illustration 28 : Résultats de la simulation des scénarios 14 et 15, reprenant les calages des modèles GARDENIA Pluie-Niveau pour évaluer quelle serait la piézométrie de l'aquifère des alluvions fluvio-glaciaires en réponse à la répétition de 4 années « sèches » successives.	51
Illustration 29 : Résultats de la simulation des scénarios 16 à 18, reprenant les calages des modèles GARDENIA Pluie-Niveau pour évaluer quelle serait la piézométrie de l'aquifère des alluvions fluvio-glaciaires en réponse à la répétition de 4 années « moyennes » successives.	53
Illustration 30 : Résultats de la simulation des scénarios 19 et 20, reprenant les calages des modèles GARDENIA Pluie-Niveau pour évaluer quelle serait la piézométrie de l'aquifère des alluvions fluvio-glaciaires en réponse à la répétition de 4 années « moyennes » successives.	54
Illustration 31 : Profil longitudinal présentant de manière synthétique les relations nappe/rivière sur le territoire des 4 Vallées.	56
Illustration 32 : Proposition de bilan entrée-sortie pour l'année hydrologique 2003-2004 déclinée par sous-secteurs territoriaux.	59
Illustration 33 : Évaluation de la situation hydro-climatologique à partir des valeurs cumulées de la pluie efficace (P EFF) fournies par Météo-France pour la station de Bron par rapport à la pluie efficace annuelle calculée pour l'année hydrologique moyenne 2003-2004 (352 mm).	68
Illustration 34 : État des ressources en eau souterraine sur la vallée de la Véga à partir des niveaux piézométriques observés au puits de Lafayette (a) et au piézomètre H (b).	70

Illustration 35 : État des ressource en eau souterraine sur la vallée de la Vésonne à partir des niveaux piézométriques observés au forage Carloz (a) et au piézomètre Moidieu-Détourbe (b).	71
Illustration 36 : État des ressource en eau souterraine sur la vallée de la Gère à partir des niveaux piézométriques observés piézomètre Pz1 associé au forage de Gemens.	72
Illustration 37 : État des ressource en eau souterraine sur la vallée de la Vésonne à partir des niveaux piézométriques observés piézomètre Cul de Boeuf.....	72
Illustration 38 : Répartition des pluies efficaces annuelles mesurées entre 1971 et 2009 par fréquence temporelle croissante.....	76
Illustration 39 : Approches proposées (Approche 1= piézométrie mesurée pour l'année 2007-2008 et Approche 2= piézométrie simulée après 2 années sèches) pour calculer la courbe de NPA pour le puits de Lafayette (a) et le piézomètre H (b).	78
Illustration 40 : Approches proposées (Approche 1= piézométrie mesurée pour l'année 2007-2008 et Approche 2= piézométrie simulée après 2 années sèches) pour calculer la courbe de NPA pour le forage de Carloz(a) et le puits Moidieu-Détourbe(b).	79
Illustration 41 : Approches proposées (Approche 1= piézométrie mesurée pour l'année 2007-2008 et Approche 2= piézométrie simulée après 2 années sèches) pour calculer la courbe de NPA pour piézomètre Pz1 associé au captage de Gemens.....	80

Liste des annexes

Annexe 1 Chroniques piézométriques « longues » disponibles, et pas de temps respectifs	89
Annexe 2 Comparaison des chroniques de pluies et de débits de la Véga pour le même pas de temps décadaire.....	93
Annexe 3 Chroniques annuelles de prélèvement pris en compte pour les modélisation GARDENIA.....	99
Annexe 4 Compte-rendu des calages des modélisations pluie-niveau-debit et pluie-niveau sous GARDENIA	105
Annexe 5 Niveaux piézométriques correspondant aux 2 approches proposées pour calculer des courbes de NPA.....	123

1. Introduction

Le développement conséquent des usages en eau souterraine, conjugué aux problèmes de ressource, rend nécessaire une gestion de la ressource durable et plus adaptée, qui prendrait à la fois en compte les besoins des usagers et le stock utilisable, tout en assurant la préservation et la protection de la ressource.

Dans la perspective des études de détermination des volumes maximums prélevables, engagées par l'Agence de l'Eau sur le bassin Rhône-Méditerranée, en application des décisions du SDAGE (Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion de l'Eau) Rhône-Méditerranée, la Direction Régionale de l'Environnement de l'Aménagement et du Logement (DREAL) et le BRGM ont souhaité améliorer la connaissance des ressources en eaux souterraines notamment sur le territoire des 4 Vallées du Bas Dauphiné. Ce territoire a en effet été identifié lors de la mise en place du SDAGE comme présentant des déficits quantitatifs et qualitatifs pour les ressources en eau.

Sur le territoire des 4 Vallées, deux études relatives à la gestion volumique des ressources en eau ont été menées en parallèle. La présente étude, dite BRGM/DREAL, se concentre davantage sur l'étude des eaux souterraines, alors que l'étude menée par les bureaux d'étude SOGREAH et ASCONIT s'intéresse dans le détail aux eaux superficielles. En raison du rôle important joué par les relations nappe/rivière sur le bassin, un soin tout particulier a été porté à l'intégration des résultats respectifs de chaque étude.

Le programme de l'étude BRGM/DREAL s'est articulé en 3 phases :

- Phase 1 : Acquisition, mise en forme et analyse des données disponibles ;
- Phase 2 : Bilan hydrogéologique moyen et modélisation globale des écoulements (GARDENIA) pour le territoire des 4 Vallées du Bas Dauphiné ;
- Phase 3 : Aide à la définition d'une gestion volumique de la ressource en eau sur le territoire des 4 Vallées du Bas Dauphiné.

Le présent rapport final synthétise l'ensemble des résultats de cette étude. Tout d'abord, une synthèse des connaissances acquises est proposée à partir des résultats de la phase 1 de cette étude (ayant fait l'objet du rapport BRGM/RP-59220-FR) et des compléments apportés par l'étude SOGREAH/ASCONIT. Puis une modélisation des écoulements de l'hydrosystème a été menée à partir d'une approche globale sous le modèle GARDENIA. Cette modélisation vise à mieux contraindre le fonctionnement actuel de l'hydrosystème et à caractériser leur réponse face aux prélèvements d'eau. Forts de ces améliorations de connaissances, des nouvelles propositions concernant la gestion volumique de la ressource en eau sont proposées pour le territoire des 4 Vallées. L'objectif de ce travail est de tendre vers une gestion quantitative des ressources en eau sur le bassin versant des 4 Vallées en évitant d'avoir recours à un usage « chronique » des arrêtés sécheresse comme c'est le cas actuellement sur le bassin.

2. Synthèse des connaissances acquises lors des phases antérieures

2.1. RECHARGE

L'étude des données météorologiques disponibles sur le bassin des 4 Vallées se trouve détaillée dans le rapport de phase 1 BRGM/RP-59220-FR (partie 3. *Données météorologiques*). Les principaux résultats à retenir de cette analyse sont les suivants :

- Les stations Météo France les plus représentatives du bassin versant sont la station de Luzinay et la station de Bron, respectivement pour les données de Pluie et les données d'ETP (en l'absence de chroniques d'ETP pour la station de Luzinay, la station de Bron a été retenue bien qu'elle soit localisée en dehors du bassin versant).
- La moyenne annuelle de Pluie sur le bassin versant est estimée à 972 mm (estimation pour la période 1971-2000 sur la base du fichier AURELHY de Météo France).
- La moyenne annuelle de Pluie efficace sur le bassin versant est estimée à 480 mm (pour plus de détail concernant ce calcul voir Illustration 19 du rapport de phase 1 BRGM/RP-59220-FR).
- L'année hydrologique 2003-2004 a été identifiée comme une année avec une pluie efficace et pluie d'été moyennes pour le bassin des 4 Vallées.
- 4 années présentant une pluie efficace faible, et donc potentiellement une faible recharge des aquifères, ont été identifiées pour le bassin. Il s'agit des années hydrologiques : 1989-1990, 1997-1998, 2006-2007 et 2007-2008.

2.2. HYDROSYSTEME

2.2.1. Présentation de l'hydrosystème

Le réseau hydrographique principal du bassin est présenté sur l'illustration 1. Les 4 cours d'eau principaux sont :

- **La Sévenne** (13 km de linéaire pour un bassin versant de 79 km²), qui se jette directement dans le Rhône, au niveau de la ville de Vienne. Son bassin est bien individualisé et indépendant.

- **La Véga** (17 km de linéaire pour un bassin versant de 88 km²), affluent de la Gère à Pont-Evêque, qui rejoint elle-même le Rhône.

- **La Vésonne** ou **Amballon/Vésonne** (18 km de linéaire pour un bassin versant de 192 km²), affluent de la Gère (rive droite) en amont de Vienne.

- Enfin, **la Gère** (30 km de linéaire pour un bassin versant de 380 km²), affluent en rive gauche du Rhône, qui prend naissance sur le plateau de Bonneveau et court jusqu'à Vienne.

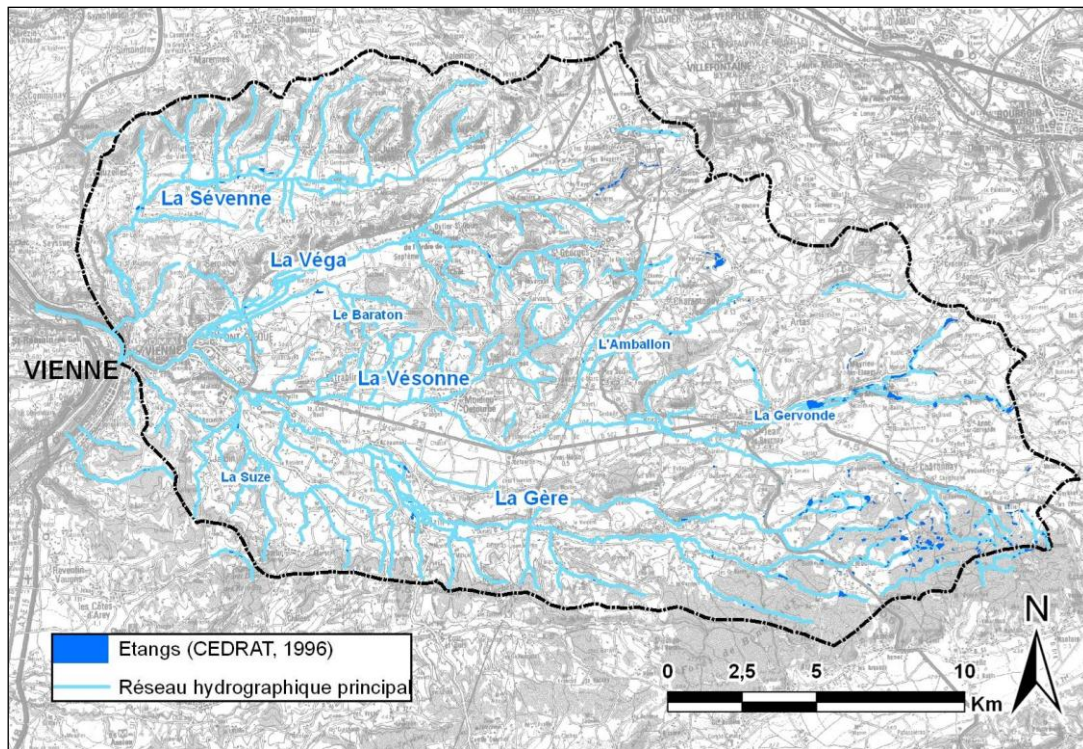


Illustration 1 : Réseau hydrographique principal et localisation des étangs sur le bassin versant des 4 Vallées.

Le territoire des 4 Vallées présente deux niveaux aquifères superposés (Illustration 2) :

- d'une part les aquifères des alluvions fluvio-glaciaires (nappes alluviales libres des vallées de Vienne), localisés dans les fonds de vallées. Leur sens d'écoulement suit globalement celui des cours d'eau ;
- d'autre part l'aquifère de la molasse miocène du Bas Dauphiné, qui s'étend sur la totalité du bassin versant.

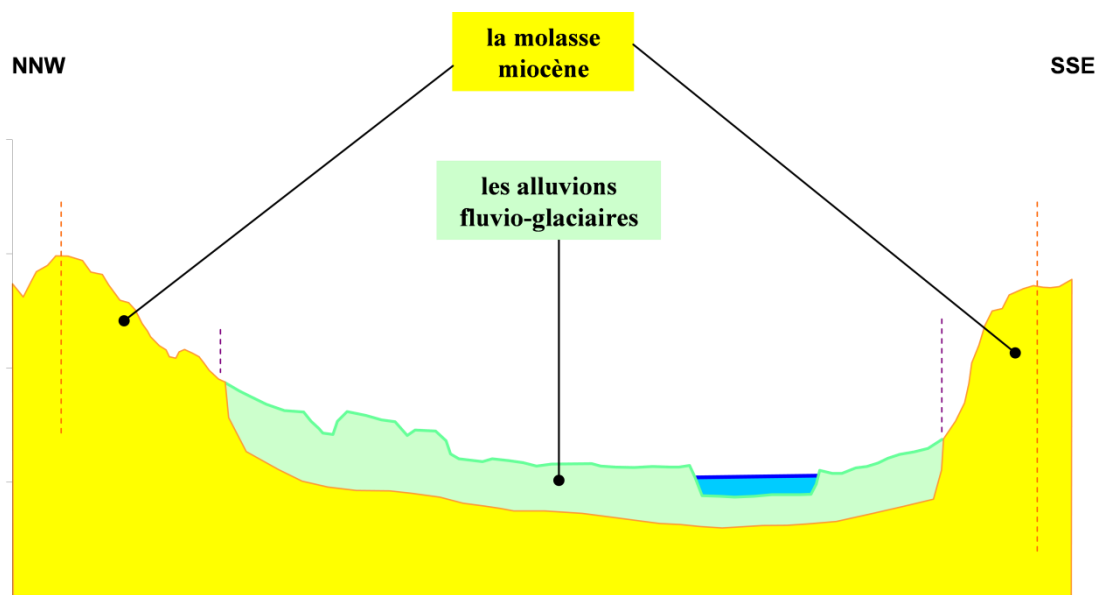


Illustration 2 : Coupe géologique de principe perpendiculaire à l'axe des couloirs quaternaires sur le territoire des 4 Vallées.

2.2.2. Données utilisées

a) Bibliographie existante

La synthèse des données bibliographiques existantes sur le bassin des 4 Vallées a fait l'objet de la phase 1 de l'étude « Acquisition, mise en forme et analyse des données » (les principaux résultats de cette phase se trouvent résumés dans le rapport BRGM/RP-59220-F). Sur la base des données bibliographiques disponibles, une sectorisation du territoire est proposée sur l'illustration 3 en s'appuyant sur la nature des relations entre niveaux aquifères (aquifère des alluvions fluvio-glaciaires et aquifère de la molasse) et des relations nappe/rivière connues. On distingue ainsi les sous-secteurs amont de la Sévenne, de la Véga et de la Gère où les eaux de rivières s'infiltrèrent vers les eaux souterraines par opposition aux sous-secteurs aval où la nappe alimente la rivière (ou drainage de la nappe par les cours d'eau). Contrairement aux autres vallées, la délimitation amont/aval sur la vallée de la Vésonne repose sur des relations entre l'aquifère des alluvions fluvio-glaciaires et l'aquifère de la molasse supposées différentes entre l'amont et l'aval, les eaux de rivière restant majoritairement infiltrantes sur l'ensemble de la vallée de la Vésonne. Pour plus de détails concernant le découpage du territoire des 4 Vallées en sous-secteurs territoriaux, on se référera au rapport de phase 1 BRGM/RP-59220-FR.

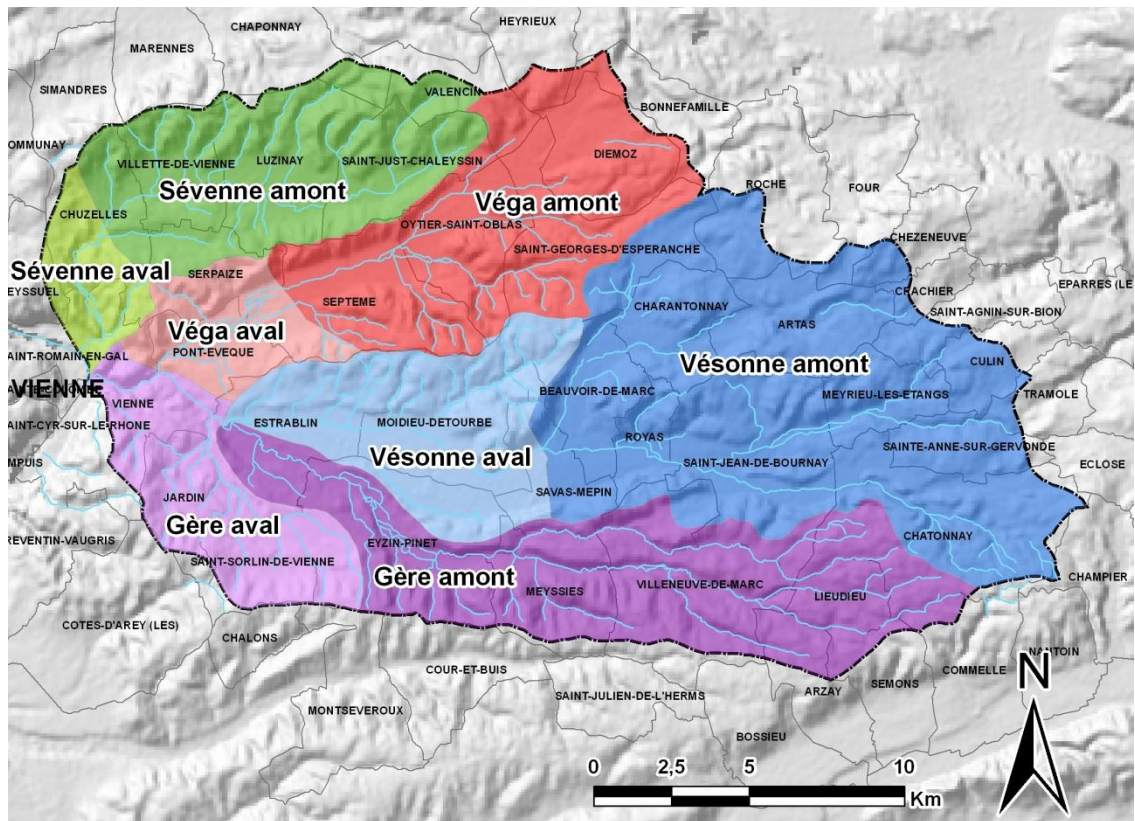


Illustration 3 : Sous-secteurs du territoire des 4 Vallées retenus pour l'étude DREAL/BRGM.

b) Chroniques continues de suivi piézométriques

Les données quantitatives relatives aux aquifères ont fait l'objet d'une étude détaillée dans le rapport de phase 1 BRGM/RP-59220-FR (partie 7.2. *Eaux souterraines*). Les chroniques de suivi en continu des niveaux de nappe ont fait l'objet d'une attention toute particulière car c'est sur la base de ces données que les écoulements des eaux souterraines peuvent être modélisés. Sur le territoire des 4 Vallées, les points de suivi de niveaux piézométriques sont inégalement répartis. La majorité des points sont implantés sur la vallée de la Véga (bénéficiant notamment des mesures au pas de temps décadaire à hebdomadaire de 9 piézomètres suivis par le Syndicat Rivière 4 Vallées). La vallée de la Vésonne dispose de 5 points de suivi alors que le seul point disposant de chroniques piézométriques sur la vallée de la Gère est le captage AEP de Gemens. La vallée de la Sévenne ne dispose d'aucun point de suivi. La durée des chroniques disponibles est également variable. La chronique la plus longue est celle du piézomètre de Moidieu-Détourbe (de 1987 à aujourd'hui), à l'inverse les chroniques les plus courtes sont celles acquises pour les piézomètres A à I sur la vallée de la Véga (de 2000 à aujourd'hui).

c) Chroniques continues de suivi de débit et données de jaugeage ponctuelles

Les données de suivi continu de débit et les données de jaugeage ponctuelles exploitées dans le cadre des études BRGM/DREAL et SOGREAH/ASCONIT se trouvent détaillées dans le rapport de phase 1 BRGM/RP-59220-FR (partie 7.1. *Eaux de surface*) et le rapport de phase 1 de l'étude SOGREAH/ASCONIT (partie 1. *Données utilisées*). On retiendra que seules 2 stations de mesure de débit sont opérationnelles sur le bassin des 4 Vallées. Il

s'agit des stations de la Véga à Pont-Evêque et de la Vésonne à Estrablin, situées toutes deux en aval du bassin.

2.2.3. Exploitation des chroniques piézométriques

L'analyse des chroniques piézométriques disponibles sur le bassin des 4 Vallées se trouve détaillée dans le rapport de phase 1 BRGM/RP-59220-FR (parties 7.2. *Eaux souterraines* et 7.3. *Relations Pluie-Niveau et Pluie-Niveau-Débit*).

Sur la vallée de la Véga, grâce à une répartition relativement homogène des points de suivi des niveaux piézométriques suivant une ligne amont/aval, un profil longitudinal présentant le positionnement du niveau de la rivière Véga par rapport au niveau de l'aquifère des alluvions fluvio-glaciaires est proposé sur l'illustration 4. Les données issues des chroniques piézométriques montrent qu'à partir du piézomètre G (proche du lieu-dit « Chez Perrier », le niveau de la rivière Véga et celui de la nappe sont quasi identiques. Ce résultat confirme bien qu'à partir du lieu-dit « Chez Perrier » (en amont direct du lieu-dit « Baraton »), les eaux souterraines soutiennent l'alimentation des eaux de rivière.

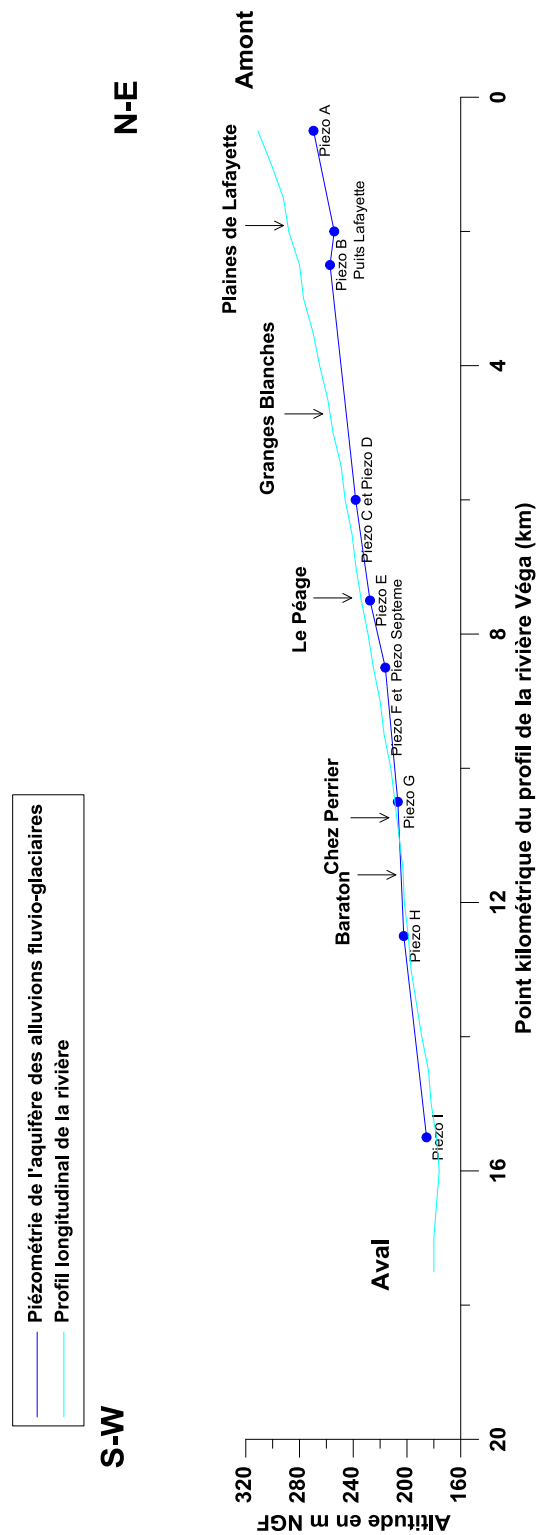


Illustration 4 : Profil longitudinal de la vallée de la Véga (orientation NE-SW altitude : facteur d'exagération verticale *20)

Par ailleurs, on retiendra de l'analyse des chroniques piézométriques que tous les piézomètres du bassin (excepté le piézomètre I sur le bassin de la Véga) présentent des variations saisonnières de leurs niveaux piézométriques. Les niveaux piézométriques les plus élevés sont globalement atteints entre décembre et mai soit pendant ou immédiatement

après la période de recharge. On observe également pour ces piézomètres des variations d'amplitude pluri-annuelle. Les niveaux piézométriques les plus bas sont observés pour les années présentant des pluies efficaces faibles, notamment pour les années hydrologiques 1989-1990, 1997-1998 et 2006-2007, définies sur le bassin versant des 4 Vallées comme des années jugées comme potentiellement « critiques » vis-à-vis des conflits d'usage relatif à l'eau (pour plus de détail consulter le rapport de phase 1, BRGM/RP-59220-FR partie 3.2.2. *Identification d'années caractéristiques*). Ce résultat implique que les variations piézométriques observées pour tous les piézomètres (excepté le piézomètre I) semblent pouvoir être directement reliées aux conditions hydro-climatologiques prévalant durant l'année en cours (été/hiver et année sèche/année humide). Du point de vue du fonctionnement de l'aquifère des alluvions fluvio-glaciaires, ces observations laissent supposer que le temps de réaction de l'aquifère à la recharge hivernale est probablement relativement court, ce qui traduit, en d'autres termes, la faible inertie de cet aquifère.

Le piézomètre I (vallée de la Véga) présente un comportement singulier sur le bassin versant des 4 Vallées. En effet ce piézomètre présente de faibles variations saisonnières de son niveau piézométrique. De plus, il ne semble pas présenter des variations qui pourraient être rattachées à des cycles pluriannuels. En tout état de cause les variations de niveau piézométrique qui pourraient être observées ne peuvent être reliées directement aux conditions hydro-climatologiques du bassin. Le piézomètre I est localisé en aval du lieu-dit « Baraton », secteur à partir duquel la remontée progressive du substratum cristallin et le rétrécissement de la vallée sont supposés imposer le déversement des eaux souterraines de l'aquifère des alluvions fluvio-glaciaires vers les eaux de rivière. Ainsi la faible amplitude des variations piézométriques observées pour le piézomètre I (inférieures à 50 cm) pourrait traduire un effet « seuil », les variations piézométriques liées à la recharge des eaux souterraines se trouvant tamponnées par le déversement de l'aquifère des alluvions fluvio-glaciaires (suivant un flux pouvant varier dans le temps) vers les rivières.

2.2.4. Exploitation des chroniques de débit

Pour plus de détails on se référera au rapport de phase 2 de l'étude SOGREAH/ASCONIT.

2.3. ACTIVITES ANTHROPIQUES IMPACTANT POTENTIELLEMENT L'HYDROSISTEME

L'étude des prélèvements et rejets se trouve détaillée dans le rapport de phase 1 BRGM/RP-59220-FR (partie 4. *Les prélèvements en eau* et 5. *Les rejets*). Ce travail a été par la suite complété pour l'analyse des prélèvements et rejets dans les eaux de surface par le travail des bureaux d'étude SOGREAH et ASCONIT (on se référera aux parties 5. *Données de prélèvement* et 6. *Données de restitutions* du rapport de phase 1 SOGREAH/ASCONIT).

De ces travaux on retiendra que la majorité des prélèvements d'eau ont lieu sur les eaux souterraines pour un usage AEP (plus de 60 % du volume total prélevé pour l'année hydrologique 2003-2004, supposée représenter une année moyenne en terme de pluviométrie sur le bassin des 4 Vallées).

Sur l'illustration 5 se trouve présenté l'ensemble des points de prélèvement du bassin des 4 Vallées en fonction i) du type de milieu prélevé (eaux de surface et eaux souterraines) et ii) du type d'usage (AEP, industriel et agricole) à l'issue du travail des études BRGM/DREAL et SOGREAH/ASCONIT (pour plus de détails concernant les volumes prélevés on se référera au rapport de phase 1 BRGM/RP-59220-FR partie 4. *Les prélèvements en eau* et au rapport de phase 1 SOGREAH/ASCONIT partie 5. *Données de prélèvements*).

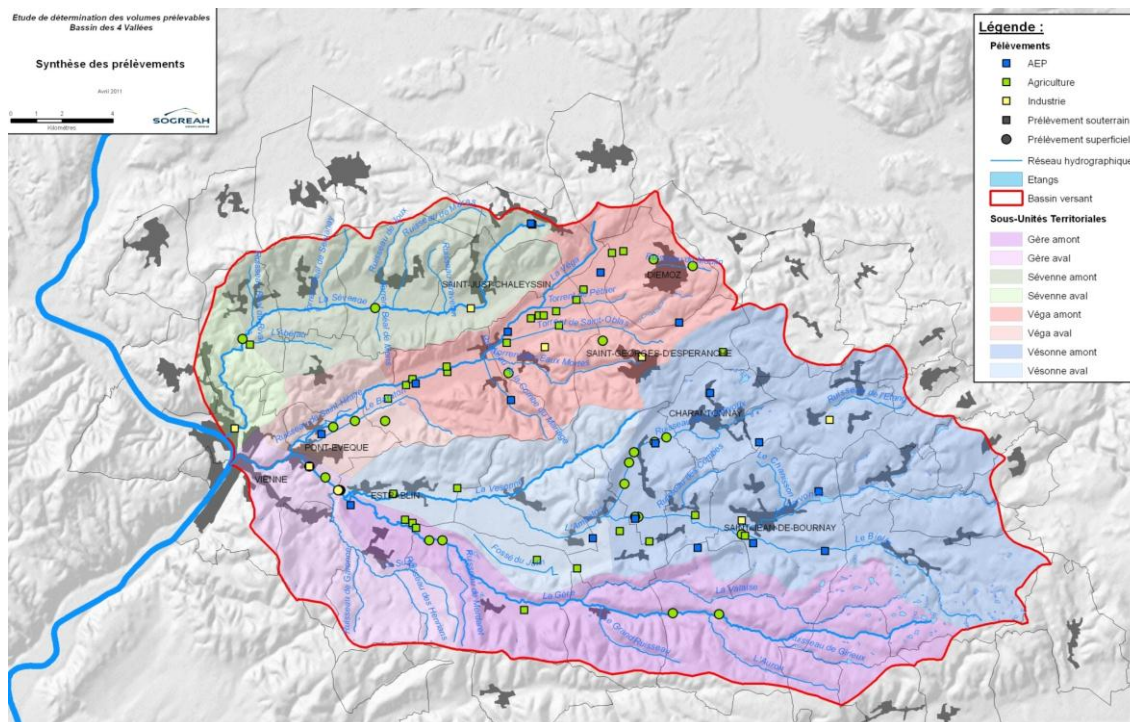


Illustration 5: Localisation des points de prélèvement dans le bassin des 4 Vallées (SOGREAH/ASCONIT, 2011a).

3. Modélisation GARDENIA

3.1. PRINCIPE ET INTERET DE LA MODELISATION GARDENIA

Le modèle GARDENIA (modèle **G**lobal **A** Réservoirs pour la simulation de **D**ébits et des **N**iveaux **A**quifères), développé par le BRGM (Thiéry 2004), est un modèle hydrologique global de bassins versants.

Le modèle GARDENIA représente le cycle de l'eau depuis les précipitations sur un bassin versant jusqu'au débit à l'exutoire ou ponctuellement sur un piézomètre dans l'aquifère. Ce modèle est global, car il considère une « entrée » globale (une « lame d'eau » sur le bassin et une évapotranspiration potentielle) et une « sortie » unique qui sont suivant le cas, le débit à l'exutoire ou le niveau piézométrique en un point de la nappe sous-jacente ou bien le débit à l'exutoire et un niveau piézométrique. Ce modèle simule le cycle de l'eau par un système de trois à quatre réservoirs en cascade (Illustration 6) qui représentent respectivement :

- Les premières dizaines de centimètres du sol dans lesquelles se produit l'évapotranspiration (zone d'influence des racines de la végétation) ;
- Une zone intermédiaire qui produit un écoulement rapide ;
- Une ou deux zones aquifères qui produisent l'écoulement lent.

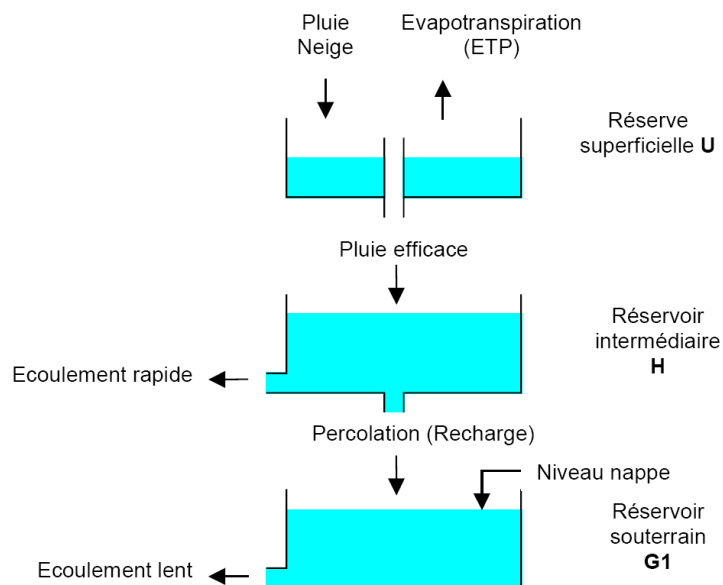


Illustration 6 - Schéma de principe du modèle GARDENIA (schéma le plus fréquent, un seul réservoir souterrain).

A partir de la séquence des données météorologiques (précipitations, évapotranspiration potentielle) sur son bassin d'alimentation, le modèle GARDENIA permet donc de calculer au choix :

- un niveau piézométrique dans le bassin versant ;
- ou bien le débit d'une source, ou d'un cours d'eau.
- ou bien le débit ainsi qu'un niveau piézométrique

Le modèle GARDENIA est utilisé de façon courante pour l'extension de données, tant dans l'espace que dans le temps. A l'issue du calage (ou calibration), le modèle GARDENIA permet les fonctionnalités suivantes :

- Etablissement d'un bilan hydrologique sur le bassin : évapotranspiration réelle, ruissellement, infiltration, recharge (dont certains termes peuvent être utilisés dans un modèle hydrodynamique) ; ce bilan contribue à l'évaluation de la recharge naturelle des aquifères ;
- Extension de chroniques de débits ou de niveaux piézométriques pour une période durant laquelle les précipitations et l'évapotranspiration potentielle sont connues ;
- Analyse de cohérence entre observations climatiques et observations de débits ou de niveaux piézométriques ;
- Analyse des différents termes du cycle hydrologique (infiltration, évapotranspiration, écoulement) ;
- Prévisions de l'influence du changement climatique.

Dans la pratique, il permet d'analyser le fonctionnement hydrologique d'un bassin versant en tenant compte des éventuelles sollicitations de la ressource. En effet, le modèle, une fois calé, est en mesure de simuler la réponse de l'hydrosystème (rivières et aquifères) à des scénarios hydro-climatologiques incluant ou non des scénarios de prélèvement d'eau.

Pour plus de détails concernant le fonctionnement et les conditions d'utilisation du modèle GARDENIA, on se référera à son guide d'utilisation (rapport BRGM/RP-52832-FR, Thiéry, 2003).

Sur le territoire des 4 Vallées, le nombre de points de mesure disposant de chroniques continues d'enregistrement de débits des rivières et de niveaux piézométriques des aquifères (voir partie 3.3. *Données de sortie des modélisations*, ci-après) reste, à l'heure actuelle, insuffisant pour la réalisation d'un modèle hydrodynamique maillé des écoulements souterrains. Fort de ce constat, une approche « globale », mettant en œuvre le modèle GARDENIA, a été engagée.

3.2. DONNEES D'ENTREE DES MODELISATIONS

3.2.1. Pluie

Les données de pluie, disponibles auprès de Météo France sur le bassin versant des 4 Vallées, concernent les stations de Luzinay (N°38215002) et de Saint-Jean-de-Bournay (N°38399001) (pour plus de détail consulter le rapport de phase 1, BRGM/RP-59220-FR). En dehors du bassin, les données des stations de Bron (N°69029001) et de Saint-Etienne-Saint-Geoirs (N°38384001) (stations les plus proches disposant de mesure d'ETP) ont également été acquises.

Les précipitations décadaires de ces 4 stations ont été comparées par la méthode des doubles cumuls (Illustration 7). Cette méthode, propre à l'hydrologie, compare plusieurs échantillons acquis à différentes stations afin de déceler une éventuelle hétérogénéité. Le principe de la méthode consiste à vérifier la proportionnalité de la somme des valeurs mesurées aux deux stations. Les meilleures corrélations sont obtenues entre les stations de Luzinay, de Saint-Jean-de-Bournay et de Bron (coefficient de corrélation compris entre 0,9997 et 0,9998).

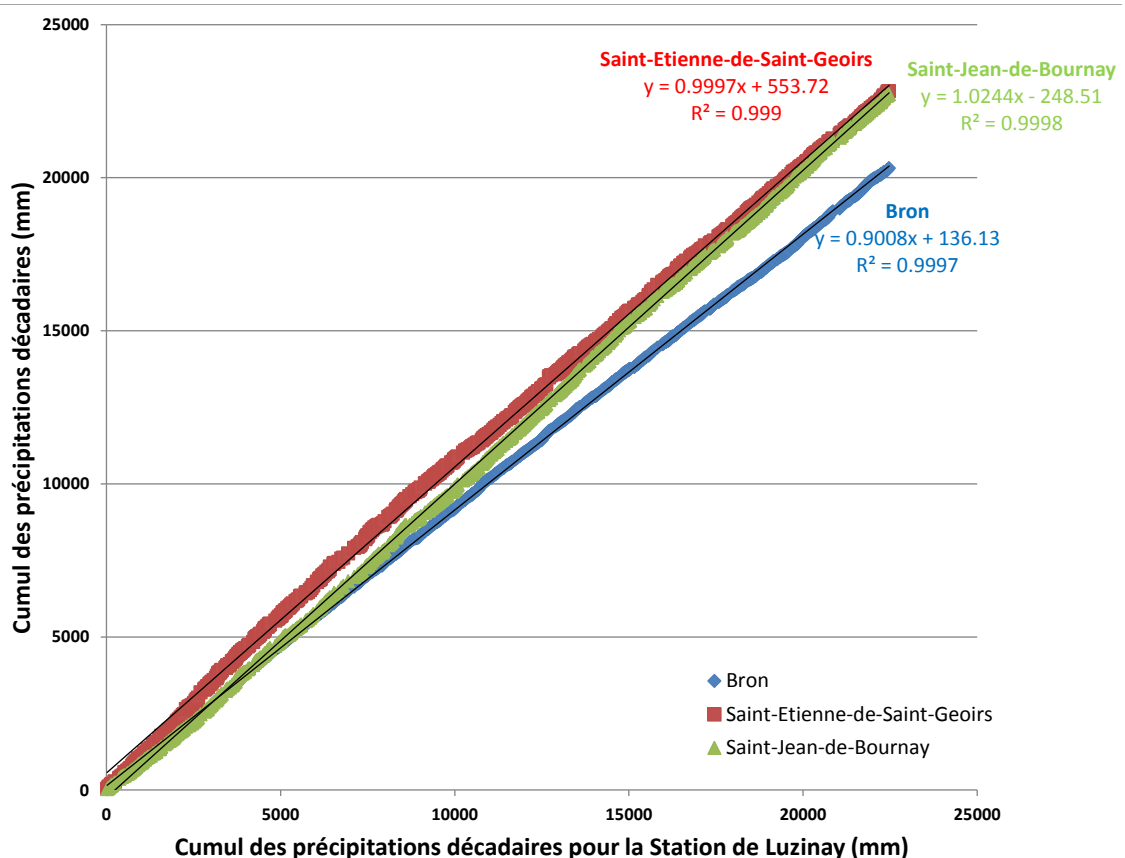


Illustration 7 : Graphe des doubles cumuls pour les stations Météo France de Luzinay, Saint-Jean-de-Bournay, Bron et Saint-Etienne-Saint-Geoirs.

Dans le cadre de cette étude, seules les données de précipitations décennales de la station de Luzinay (située à l'intérieur du bassin des 4 Vallées) ont été retenues pour le calage du modèle GARDENIA. En effet ces données ont permis d'obtenir le meilleur calage possible comparativement aux stations de Saint-Jean-de-Bournay, de Bron et de Saint-Etienne-Saint-Geoirs.

3.2.2. ETP

Les stations Météo France de Luzinay et Saint-Jean-de-Bournay ne disposent pas de chroniques d'ETP, c'est pour cette raison que les stations dites plus « complètes » de Bron et de Saint-Etienne-Saint-Geoirs, situées à proximité du bassin des 4 Vallées, ont été considérées dans notre analyse. A l'issue de la comparaison des chroniques d'ETP disponibles auprès de Météo France pour ces 2 stations (données décennales calculées suivant PENMAN MONTEITH), la station de Bron a été retenue comme station de référence pour l'ETP sur le bassin des 4 Vallées (pour plus de détail, on se référera au rapport de phase 1, BRGM/RP-59220-FR). Ainsi, seules les données d'ETP disponibles pour la station de Bron ont été retenues pour le calage du modèle GARDENIA. Le coefficient de pondération (+1.186, voir Illustration 19 du rapport BRGM/RP-59220-FR) à appliquer aux données ponctuelles d'ETP de la station de Bron, est un paramètre qui fait l'objet d'une optimisation par le modèle GARDENIA lors de son calage.

3.2.3. Prélèvements/Rejets

Les données exploitées pour caractériser les prélèvements et rejets anthropiques sur le bassin sont présentées de manière détaillée dans le rapport de phase 1, BRGM/RP-59220-FR. On retiendra que ces chroniques sont disponibles quasi essentiellement au pas de temps annuel (excepté pour quelques rares points de prélèvement AEP ou industriel disponibles au pas de temps mensuel). Ainsi la prise en compte de ces données dans les modélisations GARDENIA a nécessité une désagrégation temporelle¹ décrite ci-après (voir également le rapport de phase 1 de l'étude SOGREAH/ASCONIT).

Les chroniques décennales de prélèvements et rejets ont été reconstituées pour les stations de mesure de débit pouvant faire l'objet de modélisations pluie-niveau-débit et pour les points de mesure de niveau piézométrique retenus pour des modélisations pluie-niveau (voir partie 3.3. *Données de sortie des modélisations*, ci-après). Pour chacun de ces points de suivi, l'ensemble des prélèvements et rejets ont été totalisés par type de milieu (eaux souterraines et eaux de surface pour les modélisations pluie-niveau-débit et eaux souterraines uniquement pour les modélisations pluie-niveau) sur l'ensemble du bassin versant situé en amont de ces points (Annexe 3).

Pour les prélèvements AEP, compte tenu des faibles variabilités saisonnières attendues pour ce type de prélèvement (pour plus de détail voir la partie consacrée à

¹ Répartition des données de volumes annuels de prélèvements et de rejets sur chaque décennie de l'année

l'analyse des prélèvements AEP dans le rapport BRGM/RP-59220-FR), les prélèvements annuels ont été répartis de manière équivalente sur les 36 décades de l'année (répartition de 1/36^{ème} du volume annuel sur chaque décade).

Pour les prélèvements industriels, en l'absence d'informations sur la variabilité saisonnière de ces prélèvements et sans réponse des entreprises interrogées sur ce point, les données annuelles ont également été réparties de manière égale sur les 36 décades de l'année.

Pour les prélèvements agricoles, la désagrégation des données annuelles en données décadaires tient compte du besoin en eau des cultures, des pratiques d'irrigation et des restrictions imposées par les arrêtés sécheresse (Illustration 8) qui varient suivant les années et suivant le type de milieu prélevé (pour plus de détail on pourra se référer aux paragraphes traitant de la gestion des sécheresses sur le bassin versant des 4 Vallées dans les rapports BRGM/RP-59220-FR et SOGREAH/ASCONIT, 2011a).

Année	Nombre d'arrêtés préfectoraux	Niveau maximum de restriction atteint pour le territoire des 4 Vallées	Hydrosystème concerné
2003	6	niveau 3 : « sécheresse aggravée, prélèvements interdits »	Eaux superficielles
2004	3	niveau 2 : « sécheresse avérée, réduction des prélèvements de 40% »	Eaux superficielles
2005	3	niveau 2 : « sécheresse avérée, réduction des prélèvements de 40% »	Eaux superficielles
2006	?	niveau 1 : « risque de sécheresse, réduction des prélèvements de 20% »	Eaux superficielles
2007	0	niveau 0 : « en vigilance, aucune restriction »	
2008	2	niveau 2 : « sécheresse avérée, réduction des prélèvements de 40% »	Eaux souterraines

Illustration 8 : Liste synthétique des restrictions imposées sur les prélèvements agricoles effectués sur les eaux de surface et les eaux souterraines entre 2003 et 2008.

Pour la modélisation GARDENIA, seuls les rejets industriels et de STEP ont fait l'objet d'une désagrégation décadaire des données annuelles disponibles. En effet compte tenu des données disponibles sur les autres retours au milieu identifiés sur le bassin (pour plus de détail voir le paragraphe consacré dans le rapport BRGM/RP-59220-FR), ces rejets ont soit une destination incertaine (cas des fuites d'eau au niveau des réseaux AEP qui peuvent subir une évapotranspiration, alimenter les eaux de surface ou les eaux souterraines) soit un volume qui peut être considéré comme négligeable (cas des eaux utilisées pour l'irrigation). D'après les compléments d'information collectés par SOGREAH (SOGREAH/ASCONIT, 2011a), les prélèvements industriels de la Véga en amont de Pont-Evêque et de la Vésonne en amont d'Estrablin (excepté le point de prélèvement Calor, N°AERMC : 138399801, dont le milieu de rejet n'a pas pu être vérifié auprès de l'entreprise) ne font pas l'objet de rejets ni dans les eaux de surface ni dans les eaux souterraines. Pour les rejets de STEP, les chroniques de

données ont été reconstituées suivant la méthodologie décrite dans le rapport SOGREAH/ASCONIT (2011a). Ainsi la désagrégation décadaire des données de rejets pour toutes les stations situées en amont de Pont-Evêque et d'Estrablin s'est appuyée sur :

- Les données interannuelles disponibles de 2003 à 2009 uniquement pour la station de Saint-Jean-de-Bournay ;
- Les données intrannuelles de rejets disponibles pour cette même station pour l'année 2009 (données d'autosurveillance).

Les périodes de fonctionnement des stations (ex : station d'Artas en fonctionnement seulement depuis 2007) ont également été prises en compte pour la réalisation de cette désagrégation décadaire.

Les volumes prélevés pour un usage agricole ne sont connus de manière suffisamment précise (données de la DDT38, pour plus de détail voir la partie 4.4 *Prélèvements agricoles* du rapport BRGM/RP-59220-FR) que pour la période 2003-actuel. Pour cette raison nous avons fait le choix de prendre en compte, pour toute la période 1987-2002, une chronique de prélèvements et rejets « moyens » reconstituée au pas de temps décadaire. Les données de l'année 2004 ont été retenues pour établir cette chronique « moyenne », sur la base des deux hypothèses suivantes :

- L'année hydrologique 2003-2004 correspond à des conditions hydro-climatologiques moyennes sur le bassin des 4 Vallées (pour plus de détail voir la partie 3.2.2. *Identification d'années caractéristiques* du rapport BRGM/RP-59220-FR).
- Les données de l'année 2004 (année calendaire) peuvent être considérées comme équivalentes aux données de l'année hydrologique 2003-2004 en raison de i) la faible dépendance des volumes de prélèvements AEP et industriels aux conditions hydro-climatologiques et ii) la répartition sur les mois d'été 2004 des prélèvements agricoles déclarés pour l'année hydrologique 2003-2004.

L'ensemble des critères retenus pour établir cette désagrégation décadaire se trouvent résumés sur l'illustration 9.

		1987 à 2002	2003 à 2008
Prélèvements Eaux souterraines	AEP	Reprise de la chronique de l'année 2004	Prélèvement annuel également réparti sur chaque décade
	Industriel		Prélèvement annuel également réparti sur chaque décade
	Agricole		Prélèvement annuel désagrégé en fonction* de la 1) besoin en eau des cultures ; 2) pratiques d'irrigation ; 3) restrictions imposées par les arrêtés sécheresse
Prélèvements Eaux de surface	Industriel		Prélèvement annuel désagrégé en fonction* des pratiques des entreprises
	Agricole		Prélèvement annuel désagrégé en fonction* de la 1) besoin en eau des cultures ; 2) pratiques d'irrigation ; 3) restrictions imposées par les arrêtés sécheresse
Rejets vers les eaux de surface	STEP		Prélèvement annuel désagrégé en fonction* d'un profil "type" des rejets de la station de Saint-Jean-de-Bournay
	Industriel	Rejet annuel désagrégé en fonction* des pratiques des entreprises	

* Pour plus de détail voir rapport de phase 1 SOGREAH/ASCONIT (2011)

Illustration 9 : Résumé des critères retenus pour la désagrégation décadaire des données annuelles de prélèvements et de rejets.

3.3. DONNEES DE SORTIE DES MODELISATIONS

3.3.1. Débits

Les chroniques de débit disponibles au pas de temps journalier sur le bassin versant des 4 Vallées dans la Banque HYDRO sont présentées sur l'illustration 10. Les fiches signalétiques de ces stations sont consultables sur <http://www.hydro.eaufrance.fr>. Compte tenu des informations disponibles sur la validité des données de débits (analyse établie par la DREAL) et la longueur des chroniques disponibles (Illustration 11), seules les stations de la Véga à Pont-Evêque (V3225420) et de la Vésonne à Estrablin (V3215010) peuvent faire l'objet de modélisations GARDENIA.

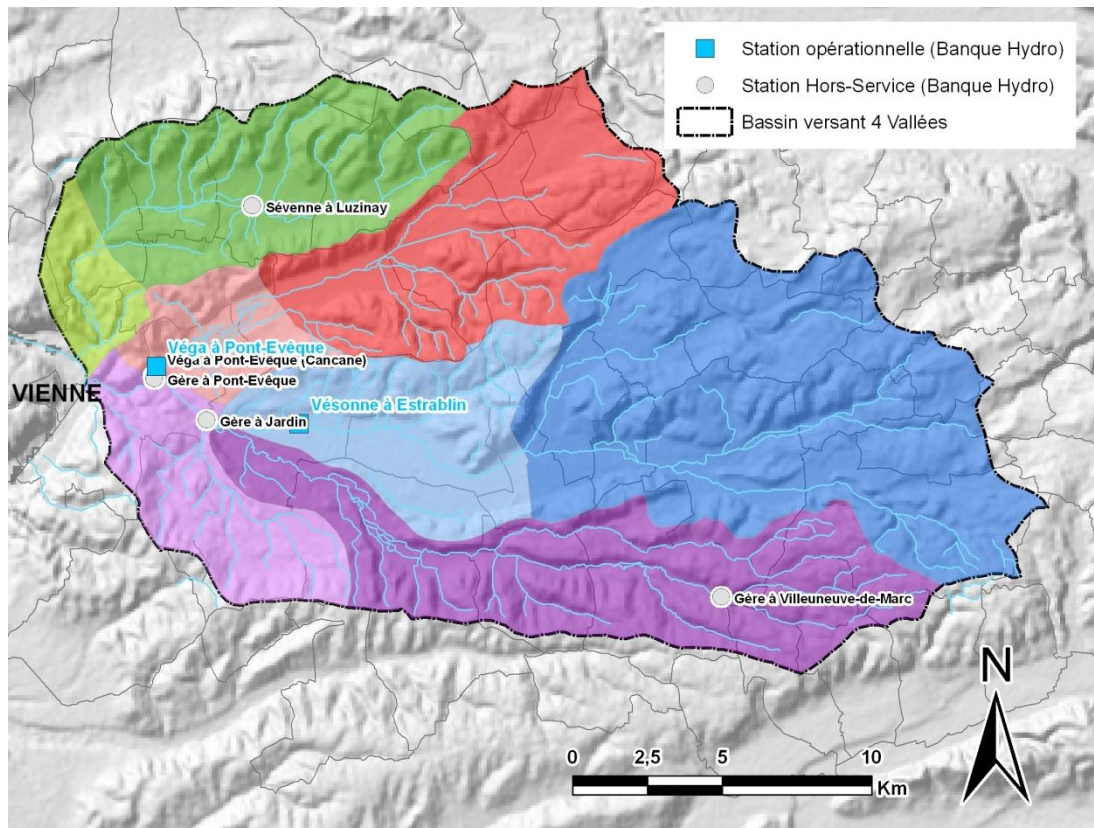


Illustration 10 : Localisation des stations de mesure de débit opérationnelles et hors service sur le bassin des 4 Vallées (données Banque HYDRO).

		Qualité des chroniques		Calage Gardenia
		Représentativité des mesures*	Longueur historique	
Sevène	Luzinay	Bonne (1986-1989)	Insuffisante (1986-1989) et prélèvements mal connus sur cette période	NON
Véga	Pont-Evêque (Cancane)	Données douteuses		NON
	Pont-Evêque	Bonne	Bon	OUI
Vésonne	Estrablin	Bonne	Bon	OUI
Gère	Villeneuve-de-Marc	Données douteuses		NON
	Pont-Evêque	Bonne (seulement 1981-1985)	Insuffisante (1981-1985) et prélèvements mal connus sur cette période	NON
	Jardin	Données douteuses		NON

*Diagnostic établi par la DREAL et disponible sur la Banque Hydro

Illustration 11 : Analyse critique des chroniques de débit disponibles pour les modélisations Pluie-Niveau-Débit GARDENIA.

Afin de détecter des évènements particuliers ou des erreurs de report, les chroniques de débit retenues (des stations de la Véga à Pont-Evêque et de la Vésonne à Estrablin) ont été au préalable comparées aux chroniques de pluie du bassin. Avec pour objectif de disposer d'une chronique de pluie la plus longue possible, nous avons considéré la station Météo France de Saint-Jean-de-Bournay (dont les données sont bien corrélées à celles de la station de Luzinay pour la période d'observation commune). La comparaison des chroniques de pluie au pas de temps décadaire et des chroniques de débit au pas de temps journalier sur l'illustration 12 ne montre pas de discordances particulières (de même si l'on compare avec les chroniques de débit au pas de temps décadaire, voir Annexe 2).

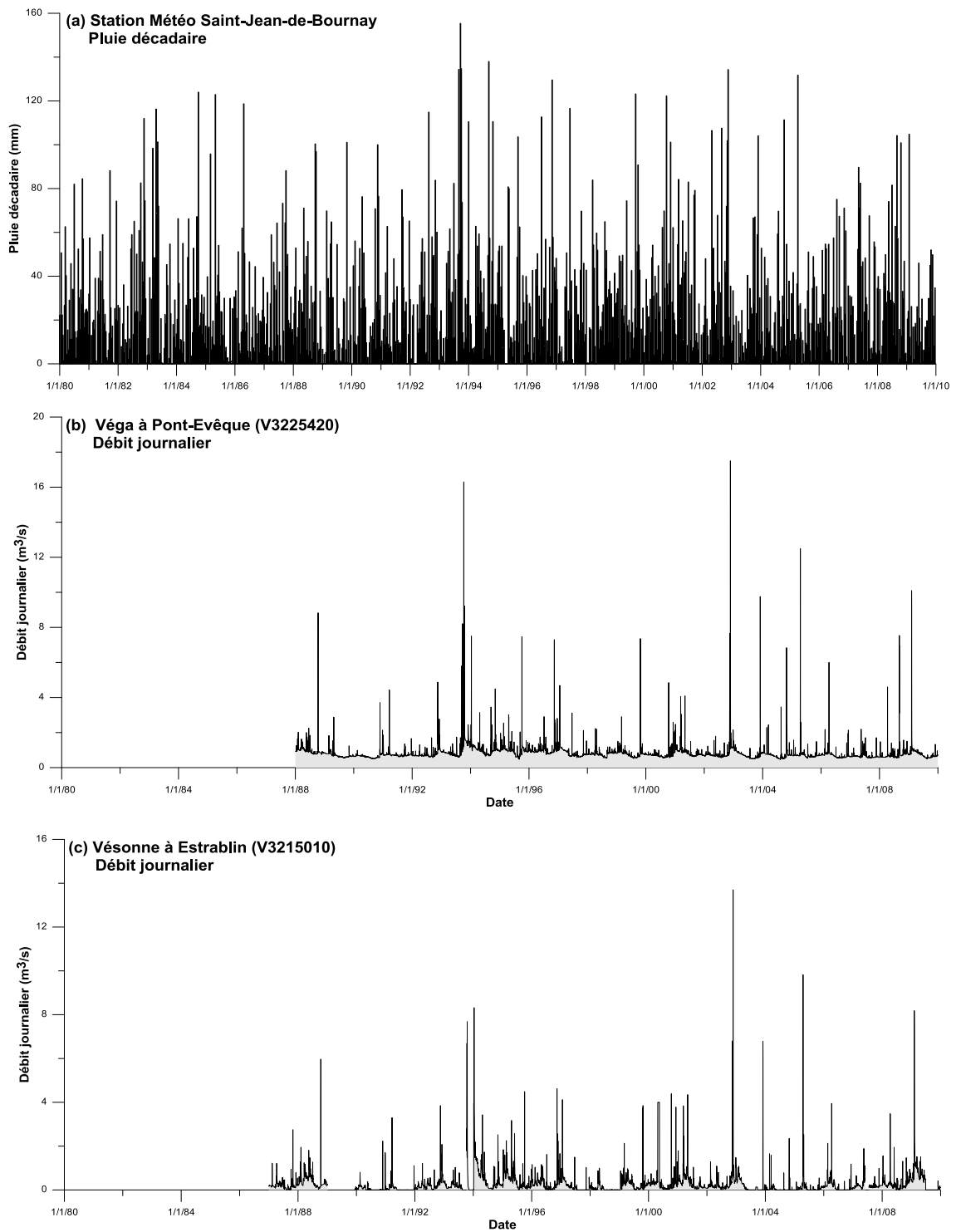


Illustration 12 : Comparaison des chroniques de pluies (a) et de débits de la Véga (b), de la Vésonne (c), sur la période 1990-2010.

Par ailleurs, à partir des visites de terrain réalisées en 2010 et des campagnes de jaugeage disponibles pour les stations opérationnelles, SOGREAH considère que les données de la station de la Vésonne à Estrablin (à l'exception peut-être des débits de crue) et la Véga à Pont-Evêque sont représentatives des débits réels observés (SOGREAH/ASCONIT 2011a, 2011b).

3.3.2. Niveaux piézométriques

Seules les chroniques piézométriques acquises à un pas de temps régulier et pour une durée de 5 ans au minimum peuvent faire l'objet d'une modélisation GARDENIA. Les points disposant de telles données sont reportés sur l'illustration 13. Ces points sont inégalement répartis sur le territoire des 4 Vallées : le bassin de la Sévenne ne dispose pas de chroniques piézométriques pouvant faire l'objet d'une modélisation GARDENIA, à l'inverse le sous-bassin de Véga dispose d'un nombre de points importants bien répartis globalement entre l'amont et l'aval (11 points). Compte tenu des coordonnées géographiques référencées pour ces points de suivis (piézomètres, puits et forages), leur distance aux cours d'eau les plus proches est suffisamment grande (plus de 100 m) pour que ces points puissent être considérés comme en dehors de la nappe d'accompagnement de ces cours d'eau.

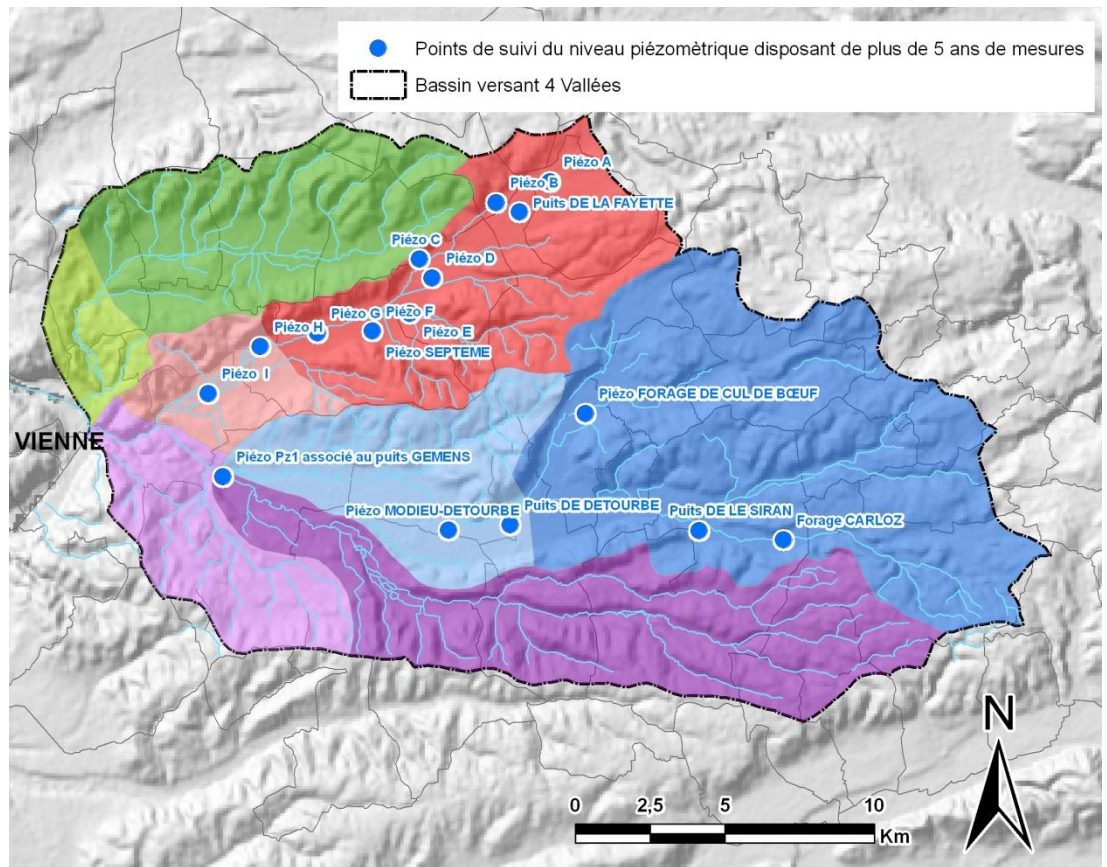


Illustration 13 : Localisation des points disposant de chroniques piézométriques acquises à un pas de temps régulier et pour une durée d'acquisition supérieures à 5 ans (données BRGM, DREAL, DDT38, Syndicat Rivière 4 Vallées, gestionnaires AEP)

La comparaison des chroniques de pluie au pas de temps décadaire et des chroniques piézométriques au pas de temps journalier a d'ores et déjà été présentée dans le rapport de phase 1 de l'étude (BRGM/RP-59220-FR). On retiendra qu'à l'issue de cette analyse aucune anomalie particulière n'a été détectée. Par ailleurs il a été mis en évidence que les différentes chroniques piézométriques étudiées, présentent des variations quasi-synchrones avec les variations de pluie efficace disponible au pas de temps décadaire pour la station météorologique de Bron.

3.4. CALAGE DES PARAMETRES DES MODELISATIONS

Toutes les modélisations GARDENIA ont été menées au pas de temps décadaire imposé par les données de pluie et d'ETP (respectivement des stations Météo-France de Luzinay et de Bron) disponibles sur le bassin des 4 Vallées. Seuls les points de suivi (de débit et de niveau piézométrique) présentant un pas d'enregistrement régulier

et une longueur de chronique supérieure à 5 ans ont fait l'objet de modélisations GARDENIA.

3.4.1. Modélisation Pluie-Niveau-Débit

Parmi les deux stations pouvant faire l'objet d'une modélisation GARDENIA, seule la station de la Véga à Pont-Evêque (V3225420) est située dans la zone de « soutien » des eaux de rivières par les eaux souterraines. Cette station a fait l'objet d'une modélisation dite « Pluie-Niveau-Débit » (simulation conjointe des niveaux de nappe et des débits des rivières à partir de la pluviométrie et de l'ETP) avec pour objectif de prendre en compte l'apport en eau de l'aquifère des alluvions fluvio-glaciaires à la Véga. La chronique de niveau piézométrique retenue pour cette modélisation est celle du puits de Lafayette qui présente l'avantage de disposer de la plus longue période de mesures sur le bassin versant de la Véga (1989 à aujourd'hui).

Le compte-rendu de calage des paramètres de la modélisation Pluie-Niveau-Débit GARDENIA est reporté en Annexe 4. Le calage du modèle s'est concentré sur les débits d'étiage en cherchant à obtenir les meilleurs paramètres de calage sur les débits inférieurs à $1,7 \text{ m}^3/\text{s}$. Le calage obtenu, présenté sur l'illustration 14 et l'illustration 15 (respectivement pour les débits de la Véga et les niveaux piézométriques du puits Lafayette) est tout à fait satisfaisant avec un coefficient d'ajustement respectivement de 0,829 et 0,921. Les débits d'étiage sont correctement simulés. La pluie efficace calculée par le modèle pour le sous-bassin de la Véga ($87,5 \text{ km}^2$) est de 460 mm/an , valeur qui est tout à fait comparable aux valeurs estimées par Météo-France pour les stations les plus proches (480 mm et 349 mm calculées respectivement pour les stations de Saint-Etienne-Saint-Geoirs et de Bron pour la période 1970-2009, pour plus de détail voir la partie 3.2. *Analyse temporelle* du rapport BRGM/RP-59220-FR). Pour la station de la Véga à Pont-Evêque, ayant fait l'objet d'un calage « Pluie-Niveau-Débit » du modèle GARDENIA, l'incertitude du modèle sur le débit simulé est de l'ordre de $0,03 \text{ m}^3/\text{s}$.

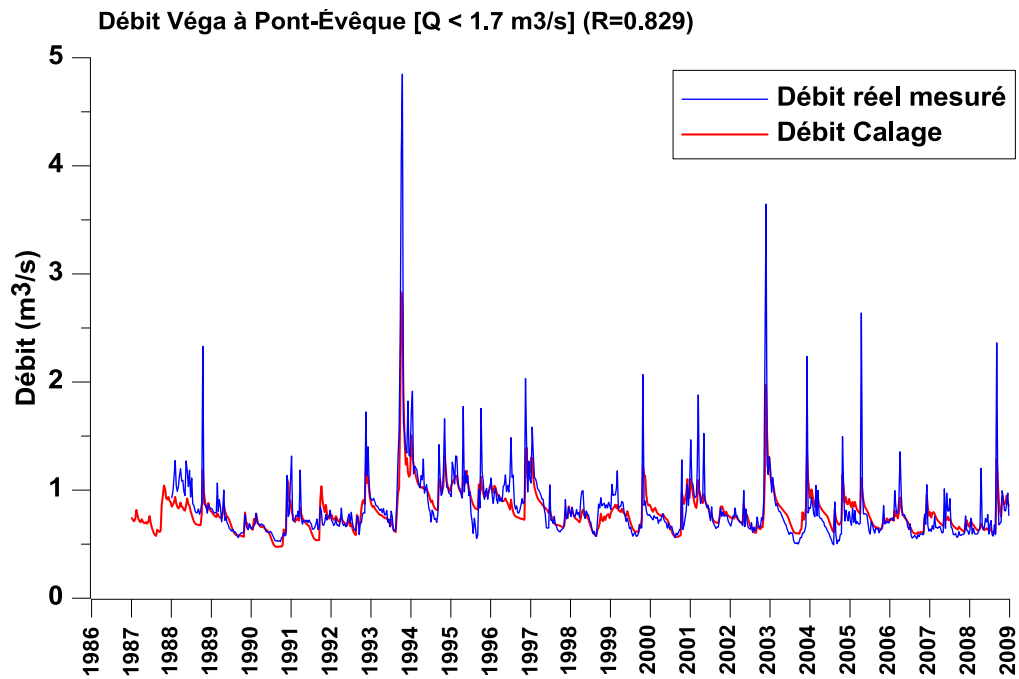


Illustration 14 : Calage du modèle GARDENIA Pluie-Niveau-Débit pour les débits de la Véga à Pont-Evêque.

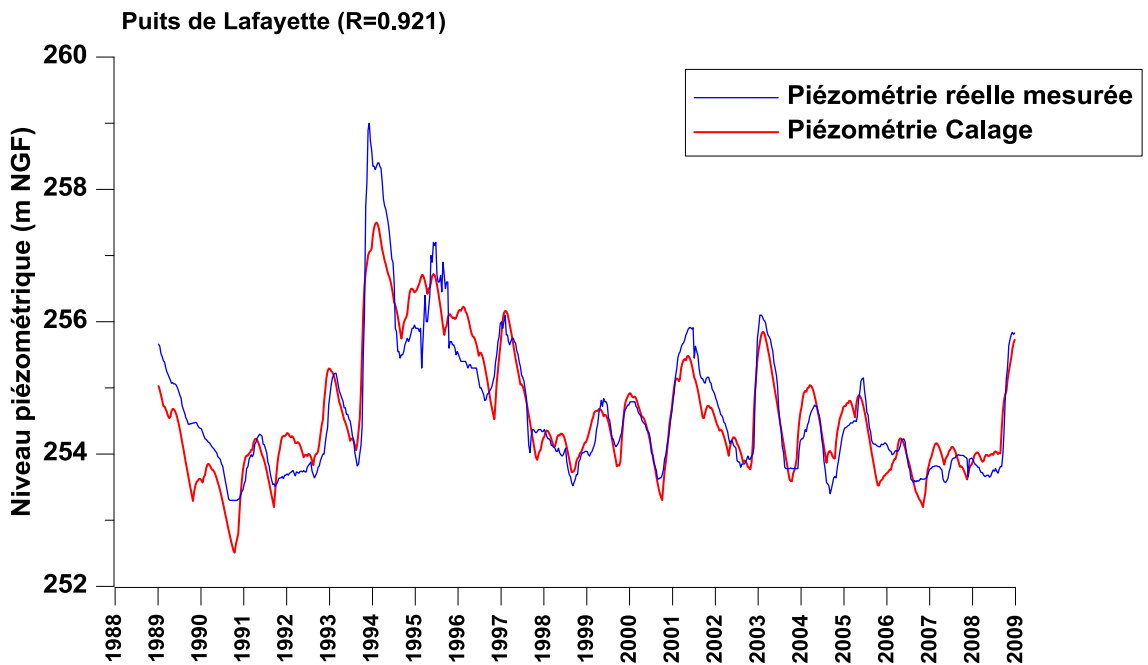


Illustration 15 : Calage du modèle GARDENIA Pluie-Niveau-Débit pour les niveaux piézométriques du puits de Lafayette.

3.4.2. Modélisation Pluie-Niveau

Parmi tous les points de suivi piézométrique pouvant faire l'objet d'une modélisation GARDENIA, dite « Pluie-Niveau » (simulation de niveaux de nappe à partir de la pluviométrie et de l'ETP), un point représentatif pour chaque sous-secteur géographique a été retenu (Illustration 16). Les calages obtenus, sont tout à fait satisfaisants avec des coefficients d'ajustement compris entre 0,91 et 0,96 (Illustration 17). A titre d'exemple, le calage du modèle Pluie-Niveau sur un des piézomètres (Pz1) associés au puits de Gemens est représenté sur l'illustration 18. Pour chacun des 5 points ayant fait l'objet d'un calage « Pluie-Niveau » du modèle GARDENIA, l'incertitude du modèle sur le niveau piézométrique simulé est de l'ordre de 30 cm.

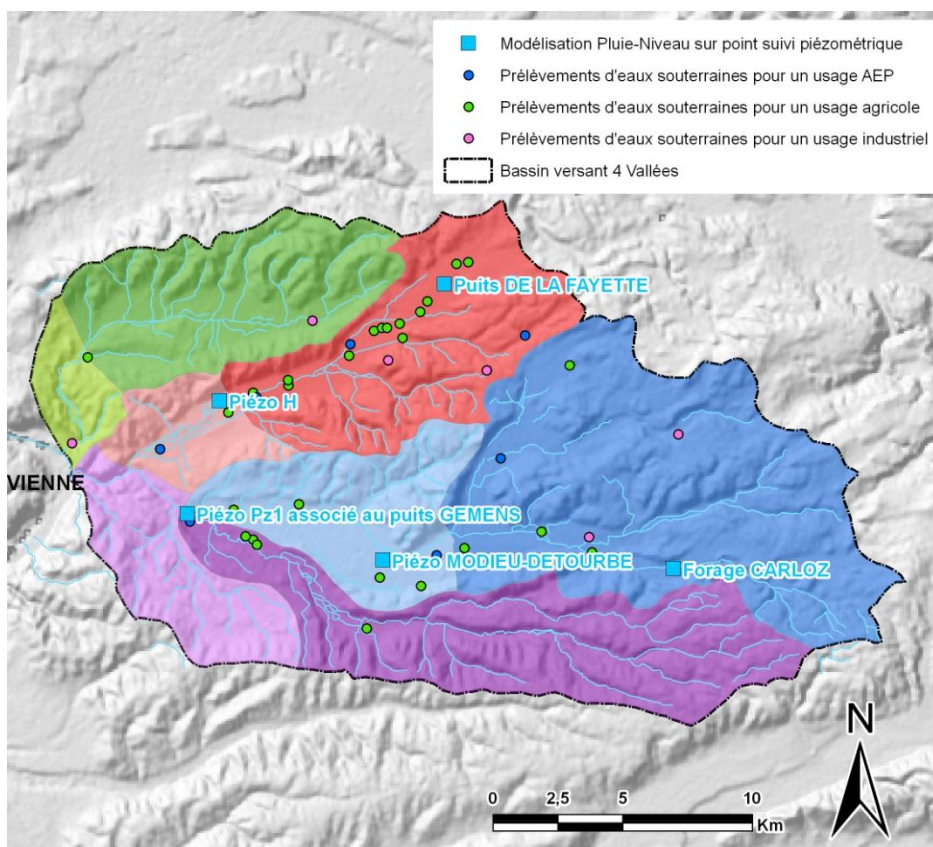


Illustration 16: Points de suivi piézométrique représentatif retenus par sous-secteur géographique pour une modélisation GARDENIA dite « Pluie-Niveau ».

Sous-secteur	Nature des relations nappe-rivière	Points de référence pour modélisation Pluie-Niveau	Coefficient d'ajustement du modèle
Sévenne amont	Zone d'infiltration	<i>Pas de point de suivi</i>	-
Sévenne aval	Zone de soutien	<i>Pas de point de suivi</i>	-
Véga amont	Zone d'infiltration	Puits de La Fayette	0.937
Véga aval	Zone de soutien	Piézo H	0.910
Vésonne amont	Zone d'infiltration	Forage Carloz	0.913
Vésonne aval	Zone d'infiltration	Piézo Moidieu-Détourbe	0.960
Gère amont	Zone d'infiltration	Piézo associés au puits Gemens	0.911
Gère aval	Zone de soutien	<i>Pas de point de suivi</i>	-

Illustration 17 : Coefficients d'ajustement du calage du modèle GARDENIA pour les points de référence retenus pour les modélisations Pluie-Niveau.

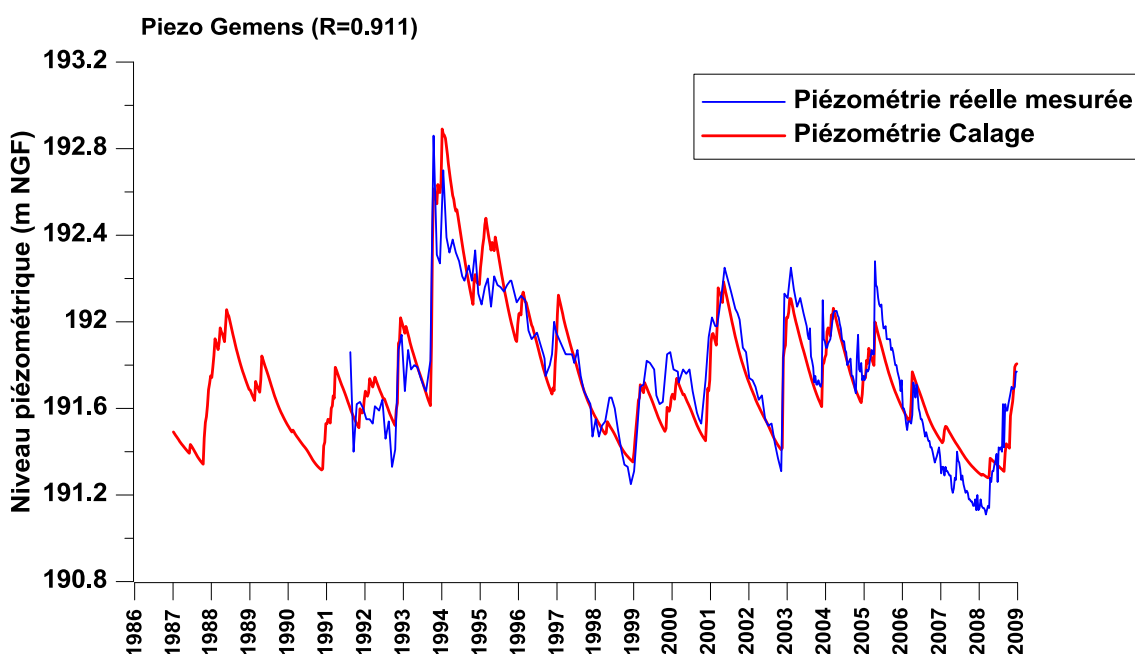


Illustration 18 : Calage du modèle GARDENIA Pluie-Niveau pour les niveaux piézométriques du piézomètre Pz1 associé au puits de Gemens.

3.5. SIMULATION DE SCENARIOS

Une fois calés, les modèles Pluie-Niveau-Débit et Pluie-Niveau ont permis de réaliser la simulation de différents scénarios ayant pour objectif d'investiguer la réponse de l'hydrosystème face aux conditions hydro-climatologiques et/ou aux sollicitations qu'ils subissent. Pour mener ces investigations, différents scénarios ont été bâtis dont les caractéristiques se trouvent reportées sur l'illustration 19.

Un des enjeux de ces simulations est de pouvoir apporter des informations utiles sur la réponse de l'hydrosystème face aux prélèvements d'eau, dans la perspective de définir des volumes maximums prélevables sur le bassin des 4 vallées.

Type de modèle	Objectif général	N° du scénario	Nom du scénario	Description
Pluie-Niveau-Débit	Reconstitution de débits non influencés	Scénario 0	Zéro pompage en amont de la Véga à Pont-Evêque	Arrêt de tous les pompages d'eau souterraine en amont du point de mesure de débit de la Véga à Pont-Evêque
		Scénario 1	Approche indirecte Sévenne aval	Approche indirecte simulant les chroniques de pompages d'eau souterraines en amont des points Sev2 et Sev3 afin d'évaluer l'impact des prélèvements d'eaux souterraines sur le débit de la Sévenne dans la zone de "soutien"
		Scénario 2	Approche indirecte Gère aval	Approche indirecte simulant les chroniques de pompages d'eau souterraines en amont des points Gere3, Gere4 afin d'évaluer l'impact des prélèvements d'eaux souterraines sur le débit de la Gère dans la zone de "soutien"
	Evaluation de l'influence des activités anthropiques	Scénario 3	Augmentation *1.2 des prélèvements	Augmentation d'un facteur *1.2 des prélèvements d'eaux souterraines en amont du point Vega2 (sur la base des prélèvements reconstitués pour la période 1987-2008, voir 3.2.3. Prélèvements/Rejets)
		Scénario 4	Augmentation *1.5 des prélèvements	Augmentation d'un facteur *1.5 des prélèvements d'eaux souterraines en amont du point Vega2 (sur la base des prélèvements reconstitués pour la période 1987-2008, voir 3.2.3. Prélèvements/Rejets)
		Scénario 5	Augmentation *2 des prélèvements	Augmentation d'un facteur *2 des prélèvements d'eaux souterraines en amont du point Vega2 (sur la base des prélèvements reconstitués pour la période 1987-2008, voir 3.2.3. Prélèvements/Rejets)
Pluie-Niveau	Reconstitution de niveaux piézométriques non influencés	Scénario 6	Zéro pompage en amont du puits de La Fayette	Arrêt de tous les pompages d'eau souterraine en amont du puits de La Fayette
		Scénario 7	Zéro pompage en amont du piézo H	Arrêt de tous les pompages d'eau souterraine en amont du piézo H
		Scénario 8	Zéro pompage en amont du forage Carloz	Arrêt de tous les pompages d'eau souterraine en amont du forage Carloz
		Scénario 9	Zéro pompage en amont du piézo Moidieu-Détourbe	Arrêt de tous les pompages d'eau souterraine en amont du piézo Moidieu-Détourbe
		Scénario 10	Zéro pompage en amont du piézo Pz1 associé au puits Gemens	Arrêt de tous les pompages d'eau souterraine en amont du piézo Pz1 associé au puits Gemens
	Evaluation de l'influence de 4 années "sèches" successives	Scénario 11	4 années sèches sur le puits de La Fayette	Répétition de 4 années successives ayant la Pluie et l'ETP de l'année hydrologique 1997-1998
		Scénario 12	4 années sèches sur le piézo H	Répétition de 4 années successives ayant la Pluie et l'ETP de l'année hydrologique 1997-1998
		Scénario 13	4 années sèches sur le forage Carloz	Répétition de 4 années successives ayant la Pluie et l'ETP de l'année hydrologique 1997-1998
		Scénario 14	4 années sèches sur le piézo Moidieu-Détourbe	Répétition de 4 années successives ayant la Pluie et l'ETP de l'année hydrologique 1997-1998
		Scénario 15	4 années sèches sur le piézo Pz1 associé au puits Gemens	Répétition de 4 années successives ayant la Pluie et l'ETP de l'année hydrologique 1997-1998
	Evaluation de l'influence de 4 années "moyennes" successives	Scénario 16	4 années moyennes sur le puits de La Fayette	Répétition de 4 années successives ayant la Pluie et l'ETP de l'année hydrologique moyenne 2003-2004
		Scénario 17	4 années moyennes sur le piézo H	Répétition de 4 années successives ayant la Pluie et l'ETP de l'année hydrologique moyenne 2003-2004
		Scénario 18	4 années moyennes sur le forage Carloz	Répétition de 4 années successives ayant la Pluie et l'ETP de l'année hydrologique moyenne 2003-2004
Scénario 19		4 années moyennes sur le piézo Moidieu-Détourbe	Répétition de 4 années successives ayant la Pluie et l'ETP de l'année hydrologique moyenne 2003-2004	
Scénario 20		4 années moyennes sur le piézo Pz1 associé au puits Gemens	Répétition de 4 années successives ayant la Pluie et l'ETP de l'année hydrologique moyenne 2003-2004	

Illustration 19 : Caractéristiques générales des scénarios retenus pour investiguer les différentes réponses des systèmes hydrogéologiques.

3.5.1. Reconstitution de débits non influencés

A partir du calage Pluie-Niveau-Débit réalisé sur la Véga à Pont-Evêque, nous avons cherché à reconstituer le débit de la Véga non influencé par les prélèvements/rejets d'eau souterraine et d'eau de surface. Pour accéder à cette information, après calage du modèle, nous avons simulé un scénario « Zéro pompage en amont de la Véga à Pont-Evêque » (noté par la suite Scénario 0) correspondant à l'arrêt de tous les pompages d'eau souterraine en amont du point de mesure de débit de la Véga à Pont-Evêque. En effet la station de mesure de débit de la Véga à Pont-Evêque est située dans une zone où le débit de la rivière est soutenu par la nappe, ainsi les prélèvements sur les eaux souterraines peuvent avoir un impact indirect sur le débit de la rivière car ils constituent alors un « déficit » d'alimentation naturelle des rivières.

Les débits simulés correspondant au Scénario 0 sont présentés sur l'illustration 20. On retiendra que le « gain » sur le débit de la Véga à Pont-Evêque dû à l'arrêt des pompages d'eaux souterraines est de l'ordre 80 l/s (valeurs comprises entre 60 et 160 l/s suivant la période de l'année).

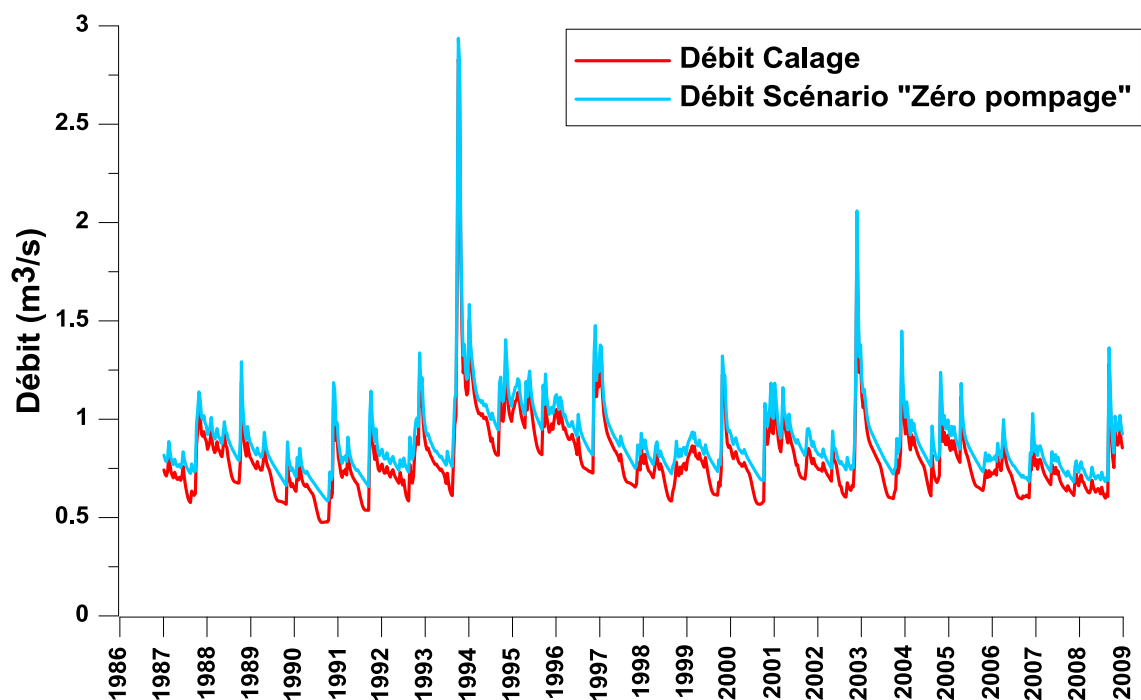


Illustration 20 : Simulation du Scénario « Zéro pompage » à partir du modèle GARDENIA Pluie-Niveau-Débit pour les débits de la Véga à Pont-Evêque.

Dans le cadre de la phase 2 « Caractérisation du fonctionnement hydrologique des cours d'eau » de l'étude SOGREAH/ASCONIT, 12 points de référence ont été définis

pour lesquels les débits d'étiage sont à évaluer et les débits « non influencés » sont à reconstituer (Illustration 21). Dans le cadre de l'étude DREAL/BRGM, nous avons cherché à évaluer l'impact que peuvent avoir les prélèvements d'eaux souterraines sur le débit des rivières, informations nécessaires pour la reconstitution d'un débit « non influencé » par les activités anthropiques. Compte tenu des connaissances acquises sur la nature des relations nappe/rivière sur le bassin des 4 Vallées, seul le débit des rivières dans les zones « de soutien », en aval des bassins de la Sévenne, de la Véga et de la Gère sont potentiellement impactés par les prélèvements d'eaux souterraines. Il s'agit des points de référence Sev2, Sev3, Vega2, Gere3 et Gere4. Parmi ces points, seul le point Vega2 a pu faire l'objet d'une modélisation GARDENIA (modélisation Pluie-Niveau-Débit de la Véga à Pont-Evêque). Les autres points ne disposent pas de chroniques de données de débit ni de toute autre information permettant de proposer une estimation quantitative du flux d'eau souterraine alimentant les rivières. Faute d'informations de terrain fiable, une approche indirecte, mettant en œuvre le calage GARDENIA Pluie-Niveau-Débit sur la Véga à Pont-Evêque, a été proposée pour évaluer quel serait l'impact des prélèvements souterrains sur ces points de référence.

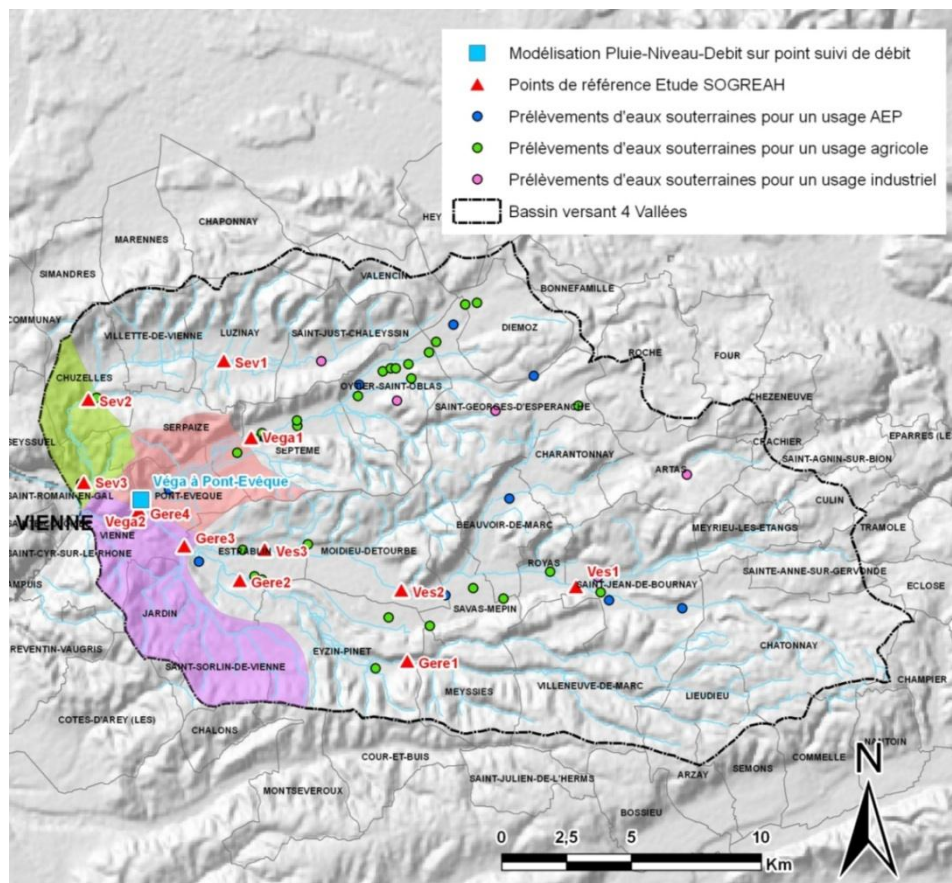


Illustration 21 : Points de référence définis dans la phase 2 de l'étude SOGREAH/ASCONIT.

L'approche retenue pour les points de référence Sev2, Sev3, Gere3 et Gere4 impose l'hypothèse que la perte de débit liée aux prélèvements d'eau souterraine est globalement équivalente entre les bassins de la Sévenne, de la Véga et de la Gère (ce qui n'est a priori pas le cas). A partir de cette hypothèse, le calage Pluie-Niveau-Débit sur la Véga à Pont-Evêque a été repris pour évaluer quel serait le débit « non influencé » par les pompages d'eaux souterraines pour les points Sev2, Sev3, Gere3 et Gere4. Concrètement cette évaluation s'est appuyée sur les résultats des simulations des scénarios 1 et 2 (Illustration 19) correspondant à la simulation des chroniques de prélèvements d'eaux souterraines respectivement en amont des points Sev2 et Sev3 et en amont des points Gere3 et Gere4. Les débits de rivière correspondant à la simulation des scénarios 1 et 2 sont ensuite comparés aux débits de rivière du scénario 0 « Zéro pompage en amont de la Véga à Pont-Evêque » afin de disposer d'un ordre de grandeur du « gain » de débit que l'on pourrait attendre si tous les prélèvements en eau souterraine en amont des points Sev2, Sev3, Gere3 et Gere4 étaient arrêtés. Les résultats issus de la simulation des scénarios 1 et 2 (Illustration 22) n'ont pour seule ambition que de fournir des ordres de grandeur et doivent être interprétés comme tel. Le gain de débit observé sur la Sévenne aval (points de référence Sev2 et Sev3) est inclus dans la précision du modèle (0,03-0,04 m³/s). Le gain de débit observé sur la Gère aval (points de référence Gere3 et Gere4) serait maximum de l'ordre de 0,3 m³/s pour un débit d'étiage de l'ordre de 1,5 m³/s (5.2. *Débits d'étiage* du rapport de phase 2 SOGREAH/ASCONIT, valeurs de QMNA5 évaluées à 1155 L/s et 1825 L/s respectivement pour les points de référence Gere3 et Gere4). Il est bon de rappeler également ici que l'approche proposée est une approche globale. Les chroniques de prélèvements d'eau souterraine sont considérées à l'échelle d'un ou plusieurs sous-secteurs géographiques. Ainsi tout prélèvement d'eau souterraine intervenant à proximité immédiate du cours de la rivière, et considéré alors comme implanté en nappe d'accompagnement du cours d'eau, peut avoir un impact direct et significatif sur le débit de la rivière qui ne peut être évalué par l'approche GARDENIA. La réalisation d'un modèle hydrodynamique maillé des écoulements souterrains pourrait apporter des éléments de réponses. Cependant, à l'heure actuelle, le manque de données d'observations disponibles sur la piézométrie, en particulier sur les sous-bassins de la Sévenne, de la Vésonne et de la Gère, ne permet pas de mener une telle approche de manière fiable.

N° du scénario	Scénario 1	Scénario 2
Points de référence	Sev2 et Sev3	Gere3 et Gere4
Station Débit biologique	Station DB1	-
Volume total d'eaux souterraines prélevé en 2004 en amont des points de référence	≈ 3 million m ³ /an	≈ 6 million m ³ /an
« Gain *» de débit dû à l'arrêt des pompages ESO (période 2003-2008)	0,03-0,04 m ³ /s	0,24-0,31 m ³ /s

* Gain = (Débit_{Scénario 1 ou 2} - Débit_{Scénario 0}), sur une base décadaire

Illustration 22 : Résultats de la simulation des scénarios 1 et 2, approche indirecte reprenant le calage du modèle GARDENIA Pluie-Niveau-Débit sur la Véga à Pont-Evêque pour évaluer l'impact des prélèvements d'eaux souterraines sur les points de référence Sev2 et Sev3, Gere3 et Gere4.

3.5.2. Evaluation de l'influence d'une augmentation des prélèvements sur le débit des rivières

Dans le rapport de phase 3 (Détermination des débits biologiques) de l'étude SOGREAH/ASCONIT, seules 2 stations situées dans les secteurs où la nappe soutien les rivières font l'objet d'une détermination de débits biologiques. Il s'agit des stations de mesure Sev2 (DB1) et Vega2 (DB2) (Illustration 21). A partir du modèle GARDENIA Pluie-Niveau-Débit calé sur la station de mesure de débit de la Véga à Pont-Evêque, différents scénarios de sollicitation de la ressource ont été testés (Scénarios 3 à 5, Illustration 19) afin d'évaluer quel serait leur impact en terme de perte et de gain d'habitat aquatique sur le cours des rivières (pour la description des différents habitats sur le bassin des 4 vallées on se réfèrera aux différents rapports de de l'étude SOGREAH/ASCONIT).

Pour les stations de mesure Sev2 (DB1) et Vega2 (DB2) les principaux résultats à l'issue de la phase 3 de l'étude SOGREAH/ASCONIT sont les suivants :

- Pour la station Sev2 (DB1), au regard de l'hydrologie "naturelle" de la Sévenne sur le secteur aval, les conditions d'habitat (hydraulique) apparaissent moyennement contraignantes. Le Débit Biologique d'étiage est à rechercher dans une gamme de débit comprise entre 110 et 130 L/s ;
- Pour la station Vega2 (DB2), au regard de l'hydrologie "naturelle" de la Véga sur le secteur aval, les conditions d'habitat (hydraulique) apparaissent (naturellement) peu limitantes. Le Débit Biologique d'étiage est à rechercher dans la gamme comprise entre 520 et 665 L/s. Par ailleurs est débit proche de 700 L/s (Débit biologique de fraie) doit être maintenu pendant toute la période qui couvre la reproduction de la Truite fario, à savoir de Novembre à Mars.

Les débits attendus pour les 3 scénarios d'augmentation des prélèvements d'eaux souterraines (par rapport à la chronique de prélèvement reconstituée pour la période

1987-2008, voir 3.2.3. *Prélèvements/Rejets*) sont présentées sur l'illustration 23. Si l'on compare ces débits simulés au débit non influencé reconstitué pour la station Vega2 (Scénario 0), les pertes de débit attendues, imputables aux prélèvements d'eaux souterraines, sont de l'ordre de 100 L/s, 125 L/s et 170 L/s respectivement pour les scénarios 3, 4 et 5. Ces ordres de grandeurs de pertes de débit seront repris dans l'étude SOGREAH/ASCONIT afin d'évaluer quelles peuvent être les conséquences sur les habitats aquatiques du bassin des 4 Vallées en fonction des périodes de l'année (période d'étiage et période de fraie).

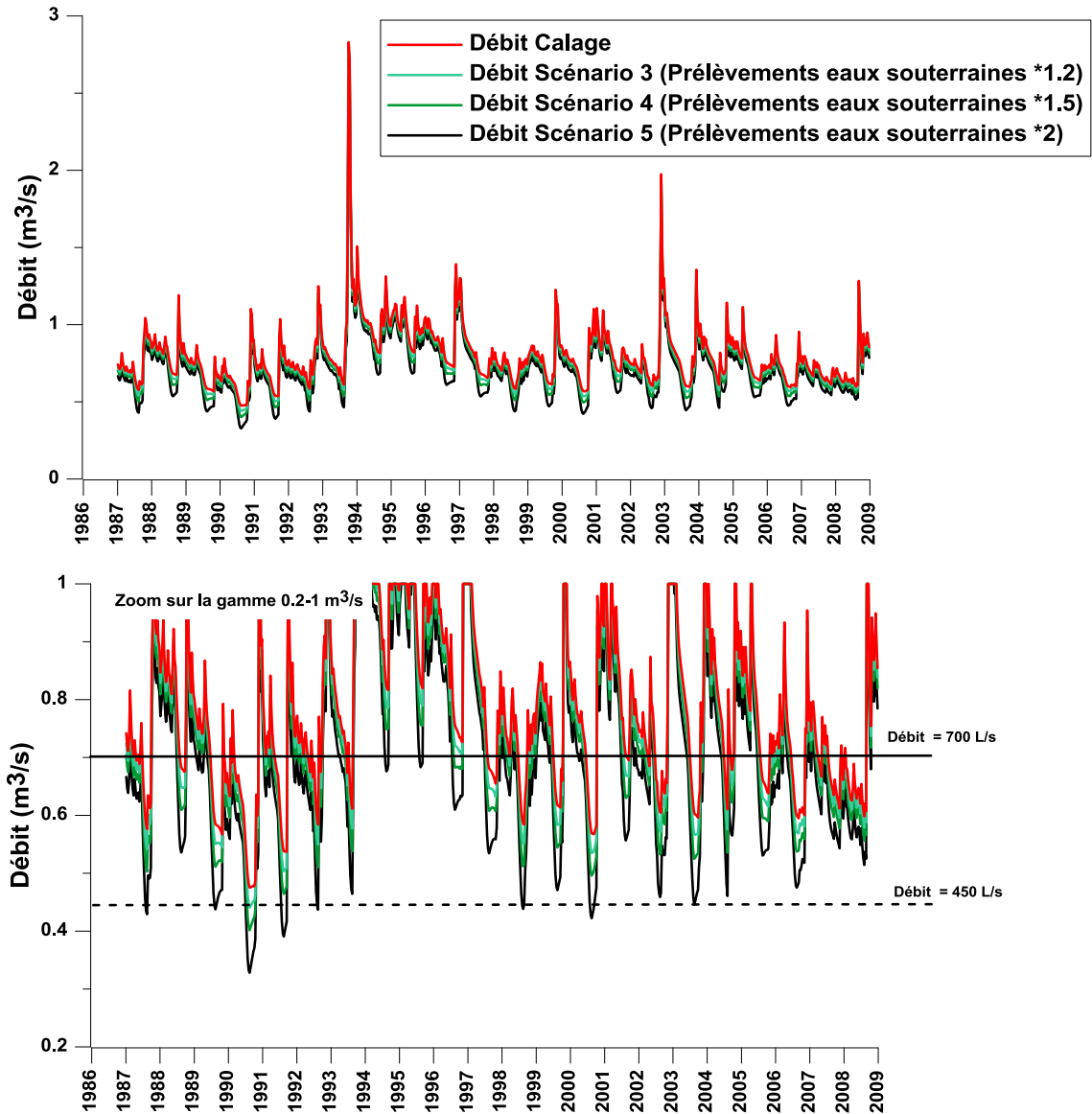


Illustration 23 : Résultats de la simulation des scénarios 3 à 5, reprenant le calage du modèle GARDENIA Pluie-Niveau-Débit sur la Véga à Pont-Evêque pour évaluer l'impact d'une augmentation des prélèvements d'eaux souterraines sur le débit du point de référence Vega2 (DB2).

3.5.3. Reconstitution de niveaux piézométriques non influencés

A partir des calages Pluie-Niveau réalisés, nous avons cherché à reconstituer la piézométrie « non influencée » (par les activités anthropiques) de l'aquifère des alluvions fluvio-glaciaires. Les résultats des calages Pluie-Niveau sur les points représentatifs de chaque sous-secteur montrent que les points situés dans les zones où les rivières sont majoritairement infiltrantes (puits de La Fayette, forage Carloz, piézo Moidieu-Détourbe et piézo Pz1 associé au puits Gemens, Illustration 16) intègrent quasi-essentiellement une composante d'écoulement dite « lente ». Ce résultat suggère que l'infiltration directe des eaux de rivières (constituant alors un signal d'écoulement dit « rapide ») dans les eaux souterraines peut être probablement négligée. Sur la base de ce résultat, nous supposons² par la suite que l'impact immédiat (sur l'année hydrologique en cours) des prélèvements d'eau de surface sur la piézométrie de la nappe des alluvions fluvio-glaciaires est probablement négligeable sur l'ensemble du bassin des 4 Vallées. Ainsi une reconstitution de la piézométrie non influencée des seuls prélèvements d'eaux souterraines a été proposée à partir de la simulation des scénarios 6 à 10 (Illustration 19) correspondant à l'arrêt de tous les pompages d'eau souterraine en amont des points de suivis piézométriques.

Les chroniques de pompage pour les prélèvements d'eaux souterraines situés en amont des points de suivi piézométriques représentatifs de chaque sous-secteur sont présentées sur l'illustration 24. Les résultats de la simulation des scénarios 6 à 10 sont présentés sur l'illustration 25 et l'illustration 26. A partir de l'approche GARDENIA retenue dans le cadre de cette étude, les différences entre la piézométrie observée et la piézométrie « non influencée » reconstituée restent globalement dans l'incertitude de la modélisation GARDENIA (différences de niveau piézométrique inférieure à 30 cm).

² Cette hypothèse n'est valable que pour un point d'enregistrement de la piézométrie situé en dehors de la nappe d'accompagnement des cours d'eau. En effet, tout prélèvement réalisé en rivière peut avoir un impact direct sur la piézométrie d'un ouvrage situé en nappe d'accompagnement.

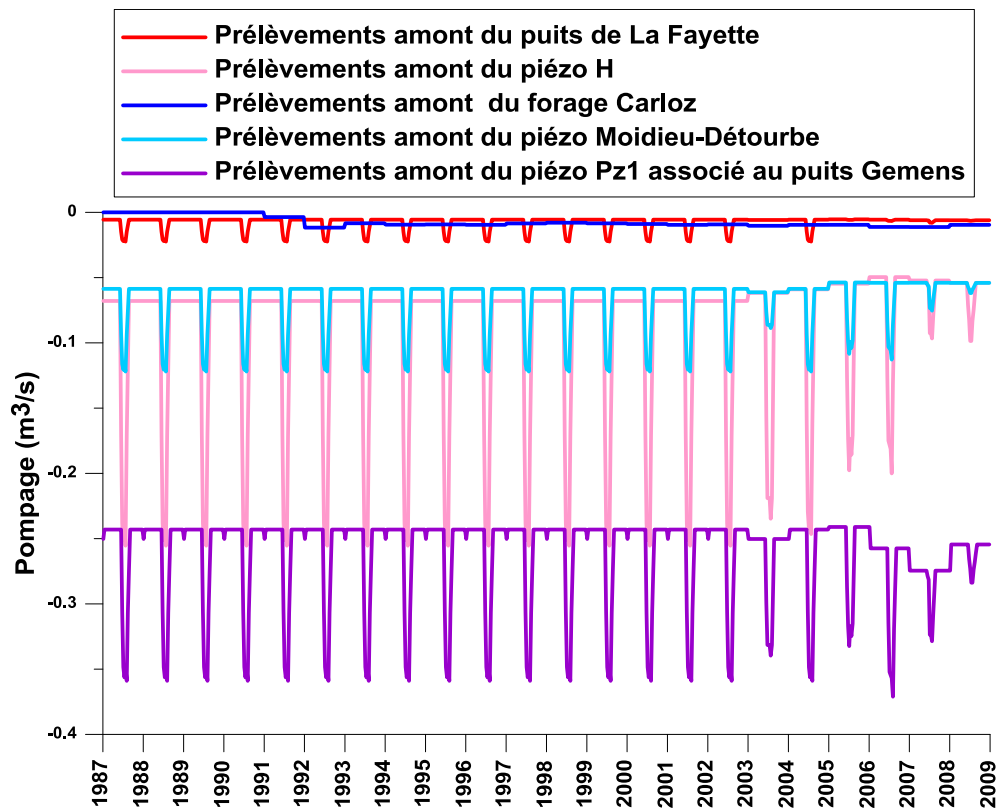


Illustration 24 : Chroniques de pompage pour les prélèvements d'eaux souterraines situés en amont des points de suivi piézométriques représentatifs de chaque sous-secteur.

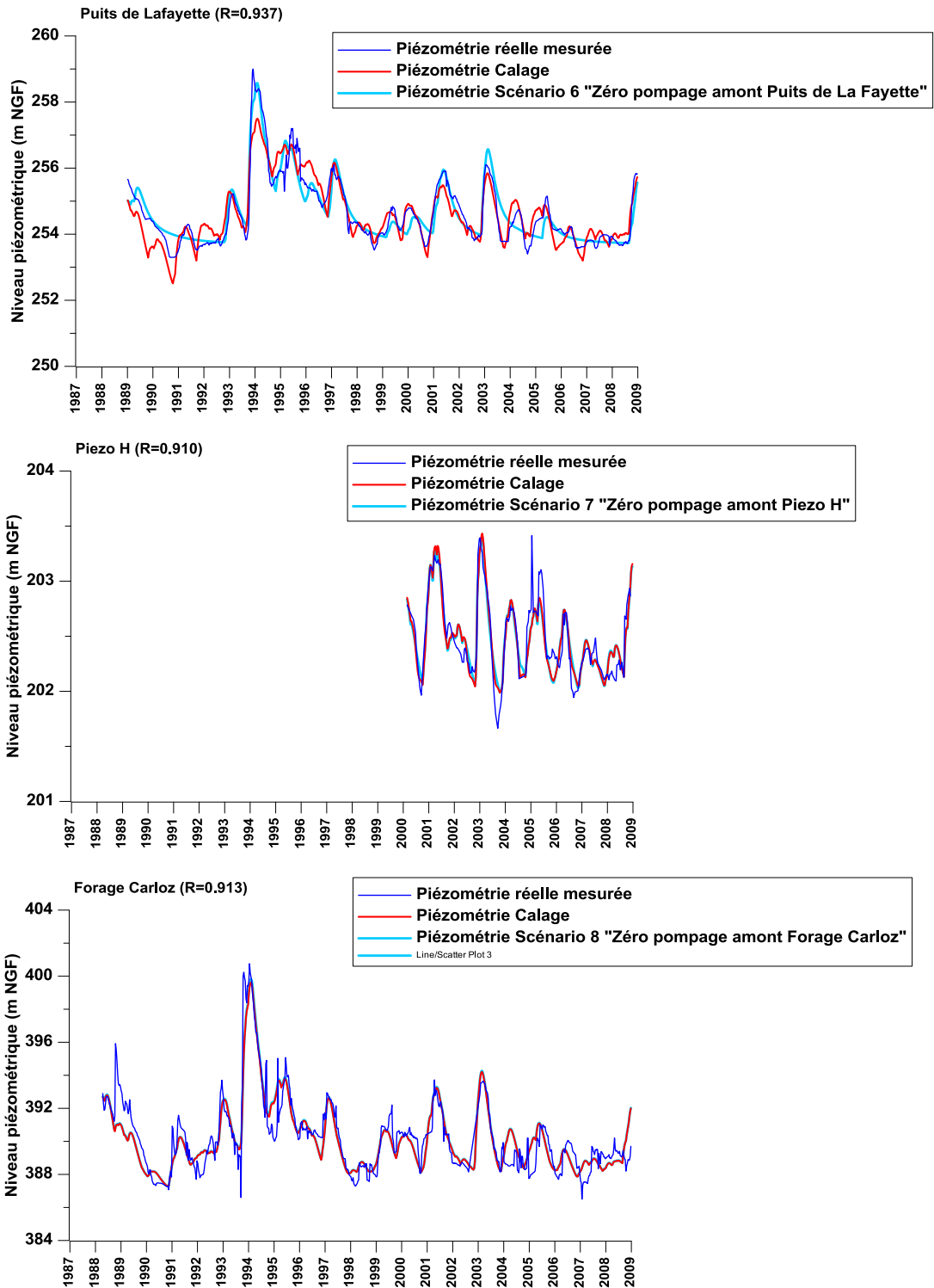


Illustration 25 : Résultats de la simulation des scénarios 6 à 8, reprenant les calages des modèles GARDENIA Pluie-Niveau pour évaluer quelle serait la piézométrie non influencée de l'aquifère des alluvions fluvio-glaciaires.

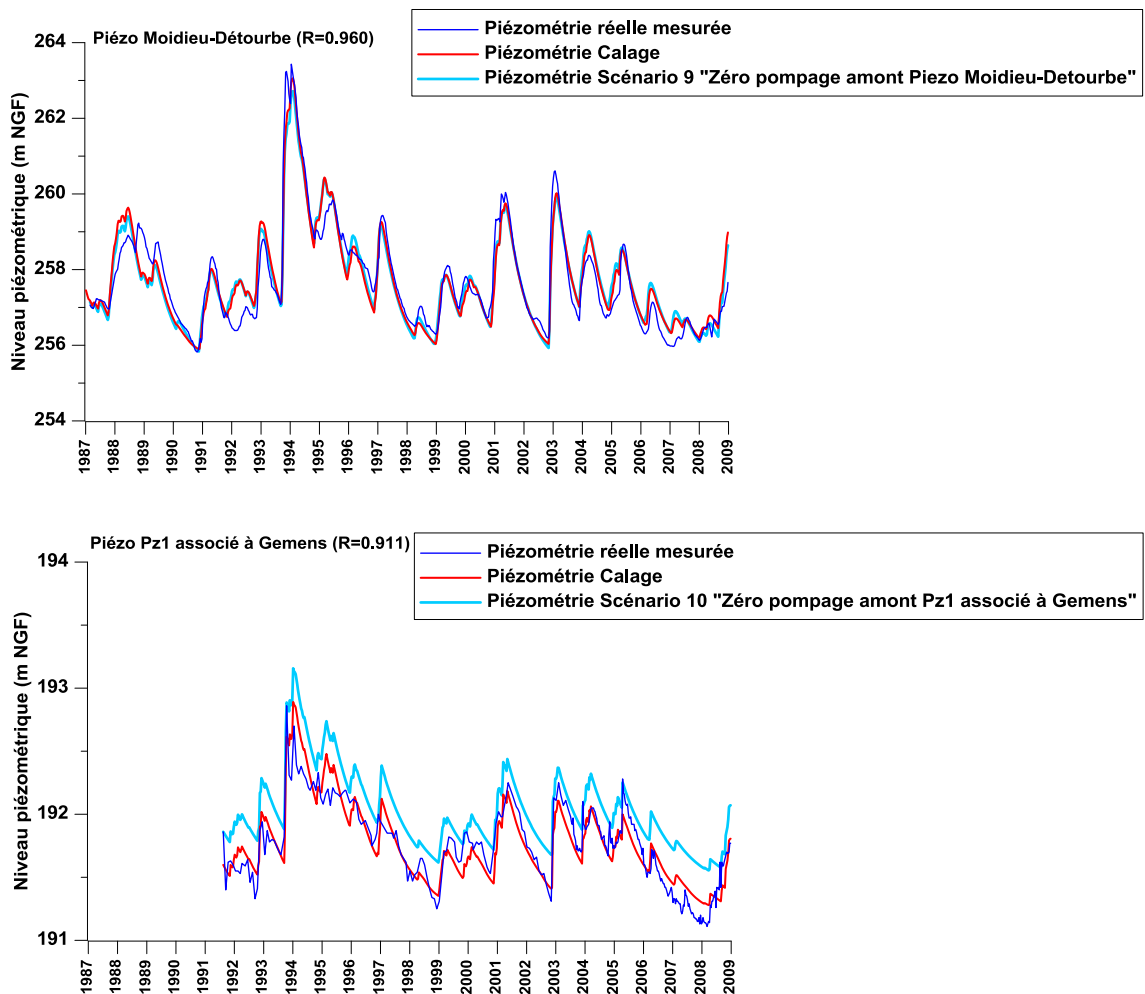


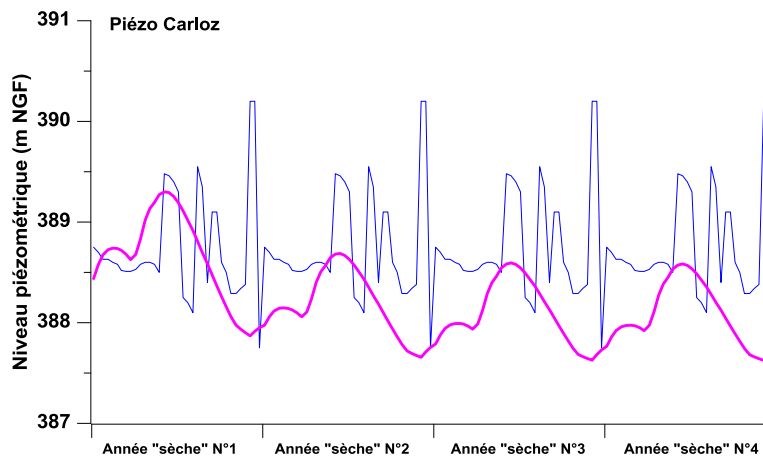
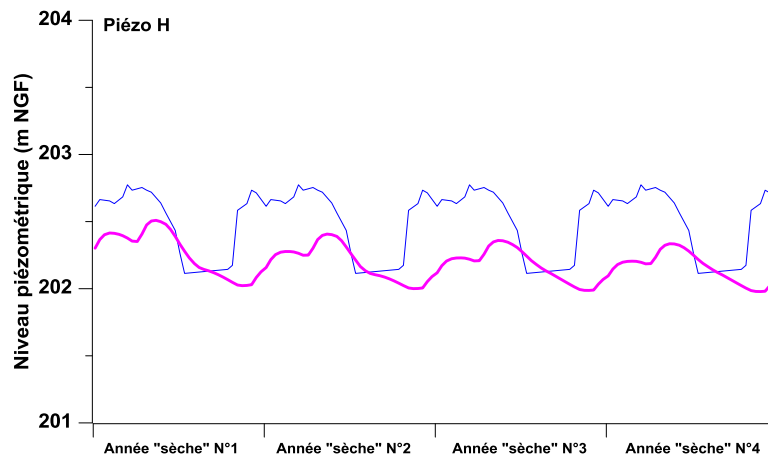
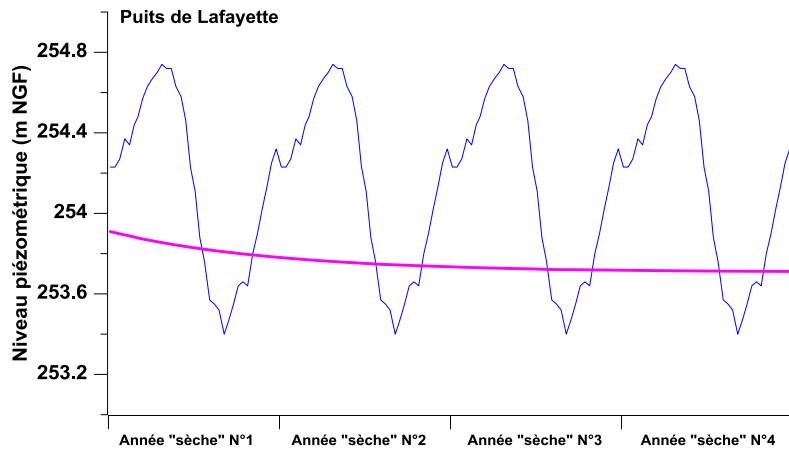
Illustration 26 : Résultats de la simulation des scénarios 9 et 10, reprenant les calages des modèle GARDENIA Pluie-Niveau pour évaluer quelle serait la piézométrie non influencée de l'aquifère des alluvions fluvio-glaciaires.

3.5.4. Evaluation de l'influence des conditions hydro-climatiques sur les niveaux piézométriques

A partir des calages Pluie-Niveau réalisés, nous avons cherché à évaluer l'influence de conditions hydro-climatiques défavorables sur la recharge et les niveaux piézométriques de l'aquifère des alluvions fluvio-glaciaires. Dans le rapport de phase 1 de cette étude (pour plus de détail on se réfèrera au rapport BRGM/RP-59220-FR 3.2.2. *Identification d'années caractéristiques*), l'année hydrologique 1997-1998 a été identifiée comme une année correspondant à une faible recharge des aquifères (faible valeur de pluie efficace : 208 mm à Bron ; très faible pluie pour les mois de juin, juillet et août : 124 mm à Bron). Les scénarios 11 à 15 (Illustration 19) testent la réponse de l'aquifère des alluvions fluvio-glaciaires à un déficit de recharge induit par la répétition

de 4 années « sèches » successives bâties sur les données de Pluie et d'ETP observées pour le bassin des 4 Vallées pour l'année hydrologique 1997-1998. Au démarrage de ces scénarios, les niveaux piézométriques simulés correspondent aux niveaux piézométriques de calage du modèle pour l'année hydrologique moyenne 2003-2004.

Les résultats de la simulation des scénarios 11 à 15 sont présentés sur Illustration 27 et l'Illustration 28. La courbe bleue représente la chronique piézométrique observée au niveau de chaque piézomètre pour l'année 2004, considérée sur le bassin des 4 Vallées comme une année hydrologique moyenne (pour plus de détail on se réfèrera au rapport BRGM/RP-59220-FR 3.2.2. *Identification d'années caractéristiques*). La courbe rose représente la chronique piézométrique simulée par le modèle Pluie-Niveau GARDENIA en réponse à 4 années déficitaires en terme de recharge des aquifères. Cette approche permet d'identifier les niveaux piézométriques minimums atteints aux points de références (proche de 253,6 m NGF, 202 m NGF, 387,5 m NGF, 256 m NGF et 191,5 m NGF, respectivement pour le puits de Lafayette, Piézo H, Piézo Carloz, Piézo Moidieu-Détourbe et Piézo Pz1 associé à Gemens) ainsi la « baisse » de niveau prédite au bout de 4 années par rapport à une situation piézométrique « moyenne » est de l'ordre du mètre (de l'ordre de 0,5 m pour le puits de Lafayette et jusqu'à 1,8 m pour le puits Moidieu-Détourbe).



— Piézométrie induite par les scénarios "Répétition de 4 années sèches successives"
— Piézométrie observée pour l'année moyenne 2004

Illustration 27 : Résultats de la simulation des scénarios 11 à 13, reprenant les calages des modèles GARDENIA Pluie-Niveau pour évaluer quelle serait la piézométrie de l'aquifère des alluvions fluvio-glaciaires en réponse à la répétition de 4 années « sèches » successives.

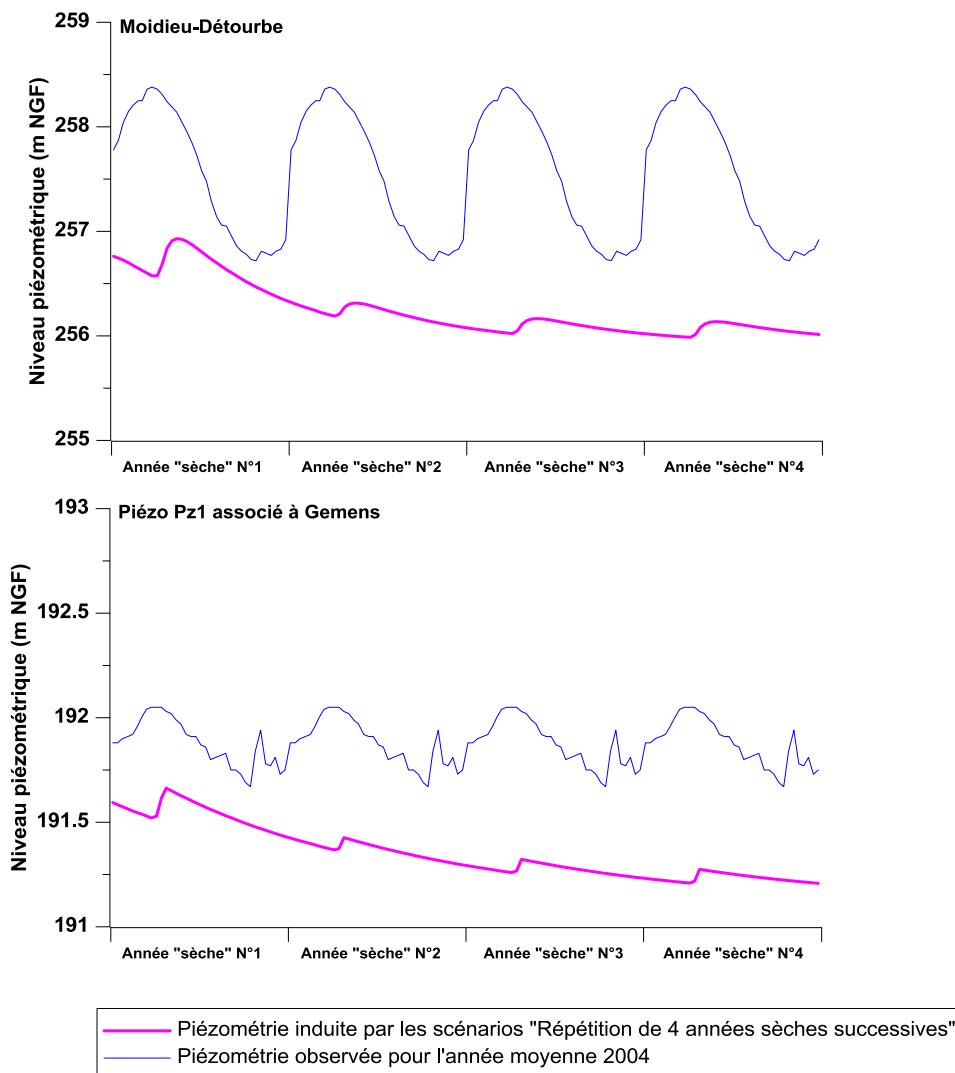


Illustration 28 : Résultats de la simulation des scénarios 14 et 15, reprenant les calages des modèles GARDENIA Pluie-Niveau pour évaluer quelle serait la piézométrie de l'aquifère des alluvions fluvio-glaciaires en réponse à la répétition de 4 années « sèches » successives.

A partir des scénarios 16 à 20 (Illustration 19) nous avons cherché à évaluer la réponse de l'aquifère des alluvions fluvio-glaciaires à la répétition de 4 années dites « moyennes » présentant les mêmes caractéristiques de Pluie et d'ETP que celles observées pour l'année hydrologique 2003-2004. L'enjeu de ces simulations est de pouvoir évaluer si, compte tenu des prélèvements actuels, la recharge des aquifères pour une année moyenne est suffisante pour satisfaire tous les prélèvements en eaux souterraines sans créer de déficit quantitatif sur les aquifères prélevés.

Les résultats de la simulation des scénarios 16 à 20 sont présentés sur l'illustration 29 et l'illustration 30. La courbe bleue foncée représente la chronique piézométrique observée au niveau de chaque piézomètre pour l'année 2004. La courbe bleue claire représente la chronique piézométrique simulée par le modèle Pluie-Niveau GARDENIA en réponse à 4 années dites « moyennes » en termes de recharge des aquifères. Aucune tendance à la baisse des niveaux piézométriques n'est observée à l'issue de ces simulations, ce qui suggère que, pour une année de recharge « moyenne » des aquifères, les prélèvements actuels ne génèrent pas de déficit quantitatif pour les eaux souterraines.

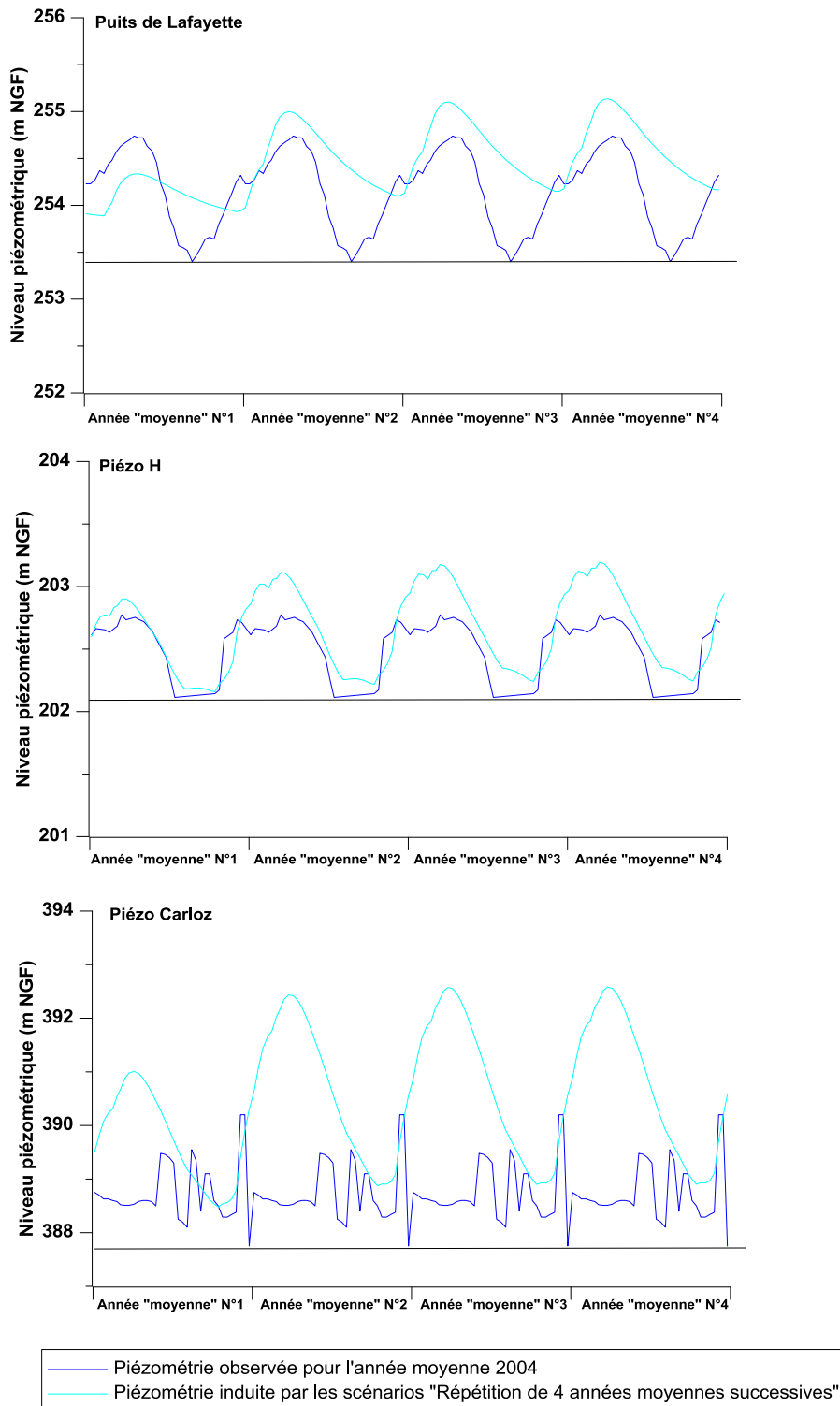


Illustration 29 : Résultats de la simulation des scénarios 16 à 18, reprenant les calages des modèles GARDENIA Pluie-Niveau pour évaluer quelle serait la piézométrie de l'aquifère des alluvions fluvio-glaciaires en réponse à la répétition de 4 années « moyennes » successives.

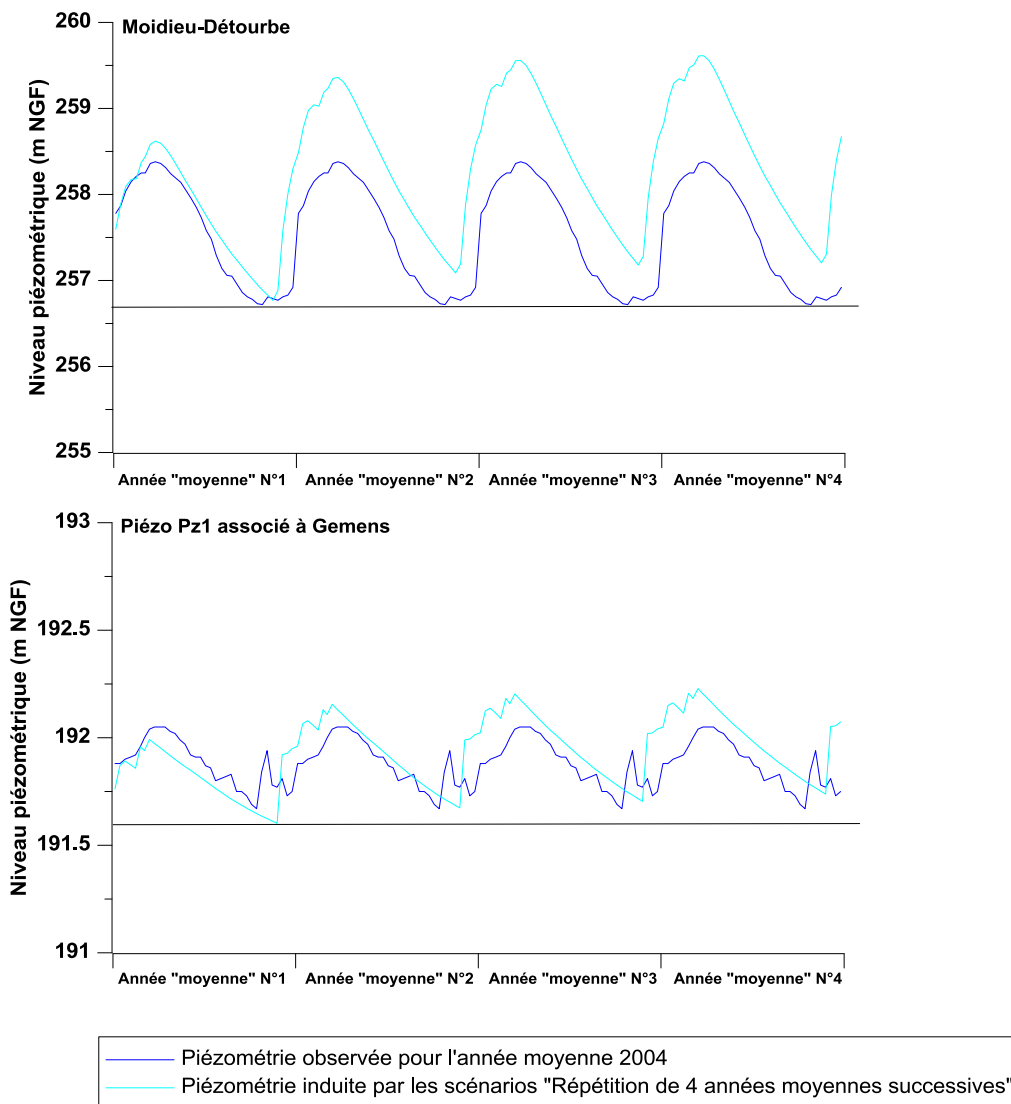


Illustration 30 : Résultats de la simulation des scénarios 19 et 20, reprenant les calages des modèles GARDENIA Pluie-Niveau pour évaluer quelle serait la piézométrie de l'aquifère des alluvions fluvio-glaciaires en réponse à la répétition de 4 années « moyennes » successives.

4. Caractérisation du fonctionnement hydrogéologique de l'hydrosystème

4.1. ETAT ACTUEL DES AQUIFERES

L'exploitation des chroniques de données piézométriques disponibles sur le bassin des 4 Vallées a permis d'établir, qu'à l'heure actuelle, l'aquifère des alluvions fluvio-glaciaires ne présente pas de déficit quantitatif chronique. Certes, les niveaux piézométriques des aquifères varient au cours du temps. Cependant ces variations sont à relier davantage aux conditions hydro-climatologiques (notamment la pluie efficace annuelle de l'année hydrologique en cours) qui contrôlent une recharge plus ou moins bonne des aquifères suivant les années hydrologiques. En tout état de cause aucune baisse systématique des niveaux piézométriques n'a pu être observée pour l'aquifère des alluvions fluvio-glaciaires sur le bassin des 4 Vallées.

4.2. INFLUENCE DU CONTEXTE HYDRO-CLIMATOLOGIQUE

A travers les modélisations Pluie-Niveau GARDENIA engagées sur 5 points de référence retenus pour l'étude de la piézométrie de l'aquifère des alluvions fluvio-glaciaires, nous avons testé la réponse de cet aquifère à la situation hydro-climatologique « fictive » d'occurrence de 4 années successives de faible recharge. Les résultats montrent que globalement la baisse des niveaux piézométriques à attendre serait de l'ordre de 1 m. Cette baisse peut paraître modérée mais peut présenter des conséquences non négligeables sur l'exploitation des ressources en eau. En effet cette baisse peut entraîner dans certains cas un dénoisement des niveaux crépinés d'un forage exploité (cas où les niveaux piézométriques actuels sont proches des crépines). Cette baisse peut également avoir un impact non négligeable sur le débit des rivières et impliquer alors potentiellement des pertes d'habitats aquatiques. Par ailleurs la baisse des niveaux piézométriques peut être également localement plus accentuée que ce que prédit GARDENIA (l'approche GARDENIA proposée dans cette étude ne donne qu'une vision globale à l'échelle du bassin des 4 Vallées, or des disparités à l'échelle locale sont à attendre, notamment celles liées à l'influence locale de prélèvements d'eau via le cône de rabattement de l'ouvrage prélevé).

4.3. RELATIONS NAPPE-RIVIERE

L'illustration 31 présente de manière synthétique les relations nappe/rivière confortées à partir de l'analyse des données de débit de rivières et de niveaux piézométriques, associée à la modélisation des écoulements par le modèle global GARDENIA (Pluie-Niveau-Débit et Pluie-Niveau). Les résultats de notre étude ont permis de valider que sur la partie amont du bassin versant des 4 Vallées les rivières s'infiltrent vers l'aquifère des alluvions fluvio-glaciaires et que la part d'eau de rivière alimentant « directement » (écoulement rapide) les aquifères peut être négligée. Sur la partie aval du bassin, l'aquifère des alluvions fluvio-glaciaires alimente les rivières (la remontée du

substratum cristallin constituant sur ce secteur un obstacle aux écoulements souterrains) et les niveaux piézométriques sont proches du niveau d'eau dans les rivières.

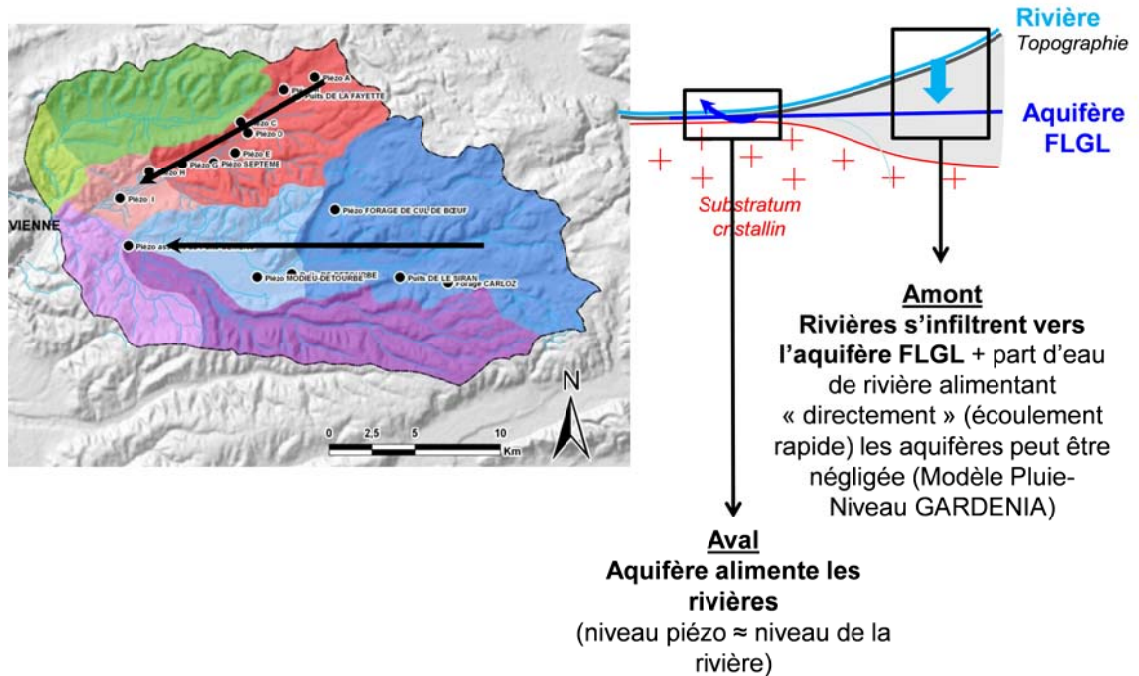


Illustration 31 : Profil longitudinal présentant de manière synthétique les relations nappe/rivière sur le territoire des 4 Vallées.

Les jaugeages réalisés en octobre 2010 dans le cadre de l'étude SOGREAH/ASCONIT, présentés dans leur rapport de phase 2 (SOGREAH/ASCONIT, 2011b), ont permis de donner des ordres de grandeur du flux d'eau provenant des eaux souterraines alimentant les eaux de rivière en période d'étiage. On retiendra que ces jaugeages montrent sur l'aval de la Sévenne une augmentation de débit **d'environ 150 L/s** entre Luzinay et Chuzelles qui peut être imputée aux apports d'eaux souterraines à l'étiage (correspondant à une augmentation de débit spécifique de 1,3 L/s/km² à Luzinay à 3,2 L/s/km² à Chuzelles). En aval de la Véga, une augmentation de débit **de l'ordre de 500 L/s** a été mise en évidence entre le lieu-dit Baraton et Pont-Evêque. Sur la Gère on observe une importante augmentation de débit dès les abords d'Estrablin. Entre le secteur d'Estrablin et celui de Pont-Evêque le gain total de débit attribuable à l'alimentation des rivières par les eaux souterraines serait **de l'ordre de 1700 L/s**.

4.4. BILAN HYDROGEOLOGIQUE MOYEN

Le bilan entrée-sortie proposé pour une année hydrologique moyenne (année 2003-2004), actualisé suite aux travaux des bureaux d'étude SOGREAH et ASCONIT se

trouve présenté sur l'illustration 32. Par rapport au bilan proposé sur l'illustration 97 du rapport de phase 1 BRGM/RP-59220-FR, les ajustements suivants ont été apportés :

- Prise en compte des prélèvements industriels de l'année 2004 (au lieu de la moyenne calculée sur la période 2000-2008), suite à la validation par SOGREAH de la pertinence des données déclarées pour cette année ;
- Intégration des données complémentaires acquises pour les eaux de surface (prélèvement et rejets) par SOGREAH (voir rapport de phase 1 SOGREAH/ ASCONIT).

La majorité des prélèvements en eau ont lieu sur les eaux souterraines (volume évalué à 12 millions de m³ pour l'année hydrologique moyenne 2003-2004, soit près de 70 % des prélèvements totaux du bassin versant). Les prélèvements en eau les plus importants sont observés à la limite entre les sous-secteurs Gère amont et Gère aval. Ces prélèvements correspondent au captage AEP de Gemens qui alimente l'agglomération viennoise. Ces prélèvements AEP sont situés dans le secteur où l'écoulement souterrain de l'aquifère des alluvions fluvio-glaciaires est entravé par la remontée du substratum cristallin, donnant naissance aux sources de Gemens et impliquant le déversement des eaux souterraines dans le réseau d'eau de surface. Les autres prélèvements d'eaux souterraines sont principalement concentrés sur les sous-secteurs amont du bassin versant et présentent ainsi un impact globalement limité sur les eaux de rivières qui ne sont pas alimentées par la nappe sur les secteurs amont. Il est à noter que depuis 2007 les prélèvements d'eaux souterraines réalisés sur le captage de Gemens ont baissé de manière significative (6,861 millions de m³ en 2007 contre 5,680 millions de m³ en 2010), les prélèvements de 2010 atteignant des valeurs comparables aux prélèvements de 2004 (5,736 millions de m³ en 2004 contre 5,680 millions de m³ en 2010).

Si l'on considère le bilan hydrologique moyen de l'hydrosystème sur le bassin versant des 4 Vallées, de nombreux flux restent encore non caractérisés d'un point de vue quantitatif. On retiendra les principaux :

- Flux d'eau dirigeant les relations nappe/rivière (infiltration des eaux de rivières en amont et soutien du débit des rivières par les eaux souterraines en aval) ;
- Flux d'eau échangés entre l'aquifère des alluvions fluvio-glaciaires et l'aquifère de la molasse ;
- Flux d'eau de rivière sortant du bassin versant à l'exutoire (le bassin versant des 4 Vallées ne dispose pas actuellement de station de suivi de débit à l'exutoire).

En l'absence de quantification de ces flux, il n'est pas possible à l'heure actuelle de statuer sur l'équilibre ou non du bilan hydrologique moyen de l'hydrosystème du bassin versant des 4 Vallées. Aussi le volume maximum qui peut être prélevé, tout en garantissant l'équilibre hydrodynamique de l'hydrosystème pour une année moyenne, ne peut être évalué. Cependant, le constat suivant peut être fait à la lumière des résultats des scénarios 16 à 20 (Illustration 19) simulés dans cadre de cette étude. La recharge des aquifères pour une année dite moyenne (année hydrologique 2003-2004) permet a priori de satisfaire les prélèvements d'eaux souterraines du bassin versant

sans induire un déficit quantitatif sur les aquifères (pas de baisse observée pour les niveaux piézométriques).

Sous-Secteur		Basin versant	Sève amont	Sève aval	Véga amont	Véga aval	Vésone amont	Vésone aval	Gère amont	Gère aval
Superficie (km ²)		454	58	13	68	19	134	46	81	34
Coefficient de pondération sur la pluie brute ⁽¹⁾		1.153	1.108	1.056	1.157	1.083	1.177	1.153	1.181	1.136
Pluie efficace P Eff moyenne station Bron (mm/an) ⁽²⁾		352.2	352.2	352.2	352.2	352.2	352.2	352.2	352.2	352.2
P Eff moyenne estimée (mm/an) ⁽³⁾		480	442	399	484	422	500	480	503	456
Écoulement des hydrosystèmes Eaux de surface (Lame eau mm/an) ⁽⁴⁾		Négligeable	Négligeable	? Négligeable	Négligeable	? Négligeable	Négligeable	50	Négligeable	? Négligeable
Eaux souterraines (Lame eau mm/an) ⁽⁵⁾		Négligeable	Négligeable	111	Négligeable	91	Négligeable	58	Négligeable	58
Rejets cours d'eau		STEP (Mm3) ⁽²⁾	0.951	0.146	0.087	0	0.540	0.097	0.081	0
		Industriels directs (Mm3) ⁽²⁾	3.008	0.927	0	0.000	0.000	0.000	0.000	2.081
		Total (Mm3) ⁽²⁾	3.959	1.073	0	0.087	0.540	0.097	0.081	2.081
Total (Lame d'eau mm/an)		9	18	0	1	0	4	2	1	62
Eaux de surface (Mm3) ⁽²⁾		2.363	0.005	0.019	0.045	0.015	0.080	0	0.071	2.128
Eaux souterraines (Mm3) ⁽²⁾		12.354	1.142	0.027	2.636	0.221	1.643	0.783	5.901	0
Total (Mm3) ⁽²⁾		14.717	1.147	0.047	2.682	0.236	1.723	0.783	5.972	2.128
Total (Lame d'eau mm/an)		32	20	4	40	12	13	17	73	63
Écoulement des hydrosystèmes Eaux de surface (Lame eau mm/an) ⁽⁴⁾		? Négligeable	? Négligeable	? Négligeable	? Négligeable	303	50	? Négligeable	? Négligeable	330
Eaux souterraines (Lame eau mm/an) ⁽⁵⁾		0	111	Négligeable	91	Négligeable	58	58	58	Négligeable

(1) voir rapport de phase 1 BRGM/RP-59220-FR, partie 3.3.2.

(2) calculé pour l'année hydrologique moyenne 2003-2004

(3) estimé à partir d'une valeur de 836,4 mm (pluie brute mesurée à Bron pour l'année hydrologique 2003-2004)

(4) voir rapport de phase 1 BRGM/RP-59220-FR, partie 7.1., les entrées du système (liées aux écoulements d'eau de surface) sur les sous-secteurs amonts sont supposées négligeables. Les sorties liées aux écoulements d'eau de surface ne sont documentées que pour 3 sous-secteurs

(5) voir rapport de phase 1 BRGM/RP-59220-FR, voir partie 7.2.4., les entrées et les sorties du système (liées aux écoulements d'eau souterraine), respectivement sur les sous-secteurs amonts et sur les sous-secteurs avals sont supposées négligeables

Illustration 32 : Proposition de bilan entrée-sortie pour l'année hydrologique 2003-2004 déclinée par sous-secteurs territoriaux.

5. Caractérisation de la réponse de l'hydrosystème aux prélèvements d'eau

5.1. CARACTERISATION DE LA REPONSE DES RIVIERES AUX PRELEVEMENTS D'EAU SOUTERRAINE

L'influence des pressions anthropiques sur les eaux superficielles doit être étudiée de manière différente sur les « zones d'infiltration » (secteurs amont) ou sur les « zones de soutien » (apports des eaux souterraines au débit de la rivière dans les secteurs aval) :

- Sur les « zones d'infiltration », ce sont principalement les prélèvements en eaux superficielles qui vont être impactant, les eaux souterraines n'influençant (dans le sens d'un soutien) pas le débit des eaux de rivières.
- Sur les « zones de soutien », les prélèvements souterrains pourraient éventuellement avoir un impact sur les débits des eaux de rivières, s'ils engendrent une diminution des apports souterrains à la rivière.

Pour l'évaluation de l'impact des prélèvements d'eaux de surface sur les eaux superficielles on se réfèrera à l'étude SOGREAH/ASCONIT. Concernant les prélèvements d'eaux souterraines, seuls le débit des rivières sur les sous-secteurs Sévenne aval, Véga aval et Gère aval risquent d'être impactés par ces prélèvements.

Pour le sous-secteur Véga aval, le calage du modèle Pluie-Niveau-Débit GARDENIA sur la Véga à Pont-Evêque a tenu compte des prélèvements sur les eaux de surface et sur les eaux souterraines. La simulation du scénario 0 a permis d'évaluer quel serait le débit de la Véga à Pont-Evêque si tous les prélèvements d'eaux souterraines étaient arrêtés en amont de ce point (reconstitution d'un débit non influencé par les prélèvements d'eaux souterraines).

Pour les sous-secteurs situés dans les « zones de soutien » et ne disposant pas de chroniques de mesures de débit (Sévenne aval et Gère aval), la mise en œuvre du modèle GARDENIA n'a pas été possible. L'impact des prélèvements d'eaux souterraines sur le débit des rivières a été apprécié suivant une approche indirecte. Cette approche a nécessité de faire l'hypothèse que les débits de la Sévenne, de la Véga et de la Gère réagissent de manière similaire aux prélèvements d'eaux souterraines, c'est-à-dire que l'on puisse supposer que la perte de débit liée à ces prélèvements sur la Sévenne et la Gère est globalement équivalente à celle de la Véga bien que les débits des rivières soient très différents (à titre d'exemple le débit médian de la Gère en aval est plus de trois fois supérieur à celui de la Véga à Pont-Evêque). Sur la base de cette hypothèse, le calage du modèle Pluie-Niveau-Débit GARDENIA sur la Véga à Pont-Evêque a été repris pour évaluer les différences de débits entre un état non influencé et un état influencé par les prélèvements en eaux souterraines pour les sous-secteurs Sévenne aval et Gère aval (simulation des scénarios 1 et 2).

A partir des simulations engagées dans cette étude, nous avons cherché à évaluer quel serait le « gain » sur le débit des rivières en aval du bassin versant si les prélèvements en eaux souterraines étaient arrêtés. Pour le débit de la Véga en aval du bassin versant des 4 Vallées, le gain serait de l'ordre de 80 l/s (pour un QMNA5 de l'ordre de 555 L/s d'après les mesures – donc influencé par les prélèvements/restitutions en eau, voir rapport de phase 3 étude SOGREAH/ASCONIT et des prélèvements en eaux souterraines de l'ordre de 3 millions de m³ pour l'année hydrologique moyenne 2003-2004). Le gain sur le débit de la Gère en aval du bassin versant des 4 Vallées serait de l'ordre de 260 l/s (pour un QMNA5 estimé à 1800 L/s environ d'après les mesures, voir rapport de phase 3 étude SOGREAH/ASCONIT et des prélèvements en eaux souterraines de l'ordre de 6 millions de m³ pour l'année hydrologique moyenne 2003-2004).

5.2. CARACTERISATION DE LA REPONSE DES AQUIFERES AUX PRELEVEMENTS D'EAU

Compte tenu de l'infiltration des eaux de rivières vers les nappes sur les secteurs amonts du bassin des 4 Vallées, les niveaux piézométriques de l'aquifère des alluvions fluvio-glaciaires sont susceptibles d'être impactés sur ces secteurs à la fois par les prélèvements d'eaux souterraines mais également par les prélèvements d'eau de surface. Cependant la modélisation des écoulements souterrains à partir du modèle Pluie-Niveau GARDENIA a mis en évidence que la part d'écoulement dite « rapide » (qui correspondrait alors à l'infiltration *directe* des eaux de rivières) alimentant les aquifères peut être négligée. Sur cette base seul l'impact des prélèvements d'eaux souterraines sur le niveau piézométrique des aquifères a été étudié. La simulation des scénarios 6 à 10 a permis d'évaluer quels seraient les niveaux piézométriques de l'aquifère des alluvions fluvio-glaciaires aux points de référence retenus dans cadre de cette étude (Illustration 16) si tous les prélèvements d'eaux souterraines étaient arrêtés en amont de ces points (reconstitution d'un niveau piézométrique non influencé par les prélèvements d'eaux souterraines). A partir des simulations engagées dans le cadre de cette étude, une augmentation des niveaux piézométriques de l'ordre de 1 m pourrait être attendue si tous les prélèvements en eaux souterraines sur le bassin versant des 4 Vallées étaient arrêtés. Il est rappelé une nouvelle fois ici que ce résultat revêt un caractère global et des augmentations localement plus importantes des niveaux piézométriques pourraient être potentiellement observées.

6. Propositions concernant la gestion volumique de la ressource en eau

6.1. LIMITES DES CONNAISSANCES ACTUELLES

La mise en place d'une gestion volumique de la ressource en eau sur le territoire des 4 Vallées se trouve actuellement principalement limitée par l'impossibilité, compte tenu des connaissances existantes, de quantifier précisément les flux régissant les relations nappe/rivière. Ainsi l'acquisition de nouvelles données de terrain s'avère indispensable :

- Création de nouveaux points de suivi en continu des écoulements des eaux de rivière et des eaux souterraines. On cherchera notamment à mieux documenter les secteurs amont, là où les conflits liés à l'usage des ressources en eau sont susceptibles de se développer en priorité ;
- Réalisation de jaugeages différentiels pour différents régimes hydriques des cours d'eau visant à préciser quantitativement les flux d'échanges nappe-rivière (et compléter les résultats obtenus par l'étude SOGREA/ASCONIT uniquement en période d'étiage) ;
- Mise en œuvre d'autres approches méthodologiques permettant de proposer une quantification des flux d'échanges nappe-rivière. Ces approches méthodologiques pourront être choisies à la lumière des résultats méthodologiques développés par le projet NAPROM (NAPpes et Rivières : Observations et Modèles 2011-2013, projet ONEMA avec ENSM-SE, EZUS, BRGM, Cemagref, Sysiphe).

L'approche proposée dans le cadre de cette étude pour modéliser les écoulements a consisté en la mise en œuvre du modèle global GARDENIA pour les sous-secteurs géographiques où les chroniques de suivi des débits des rivières et des niveaux piézométriques des aquifères le permettaient. La principale limite de cette approche réside dans le caractère *global* des résultats obtenus. Contrairement à un modèle hydrogéologique dit « maillé », le modèle global GARDENIA ne rend pas compte des disparités d'écoulement de l'hydrosystème pouvant exister à l'échelle locale. A titre d'exemple, un forage situé à proximité des cours d'eau et qui constitue alors un prélèvement en nappe d'accompagnement du cours d'eau pourra avoir un impact direct sur le débit des rivières. Autre exemple, suivant la proximité des forages entre eux, des prélèvements peuvent rentrer en compétition, sans que l'approche GARDENIA ne puisse le détecter à grande échelle.

Un modèle hydrogéologique dit « maillé » pourrait être un des futurs outils à mettre en œuvre pour la gestion volumique spatialisée de la ressource en eau sur le territoire des 4 Vallées. Cependant en l'état actuel des connaissances, les mécanismes régissant le fonctionnement et les connexions entre les niveaux aquifères (aquifère des alluvions fluvio-glaciaires et aquifère de la molasse) et les rivières (relations nappe/rivière) restent insuffisamment contraints. Or la qualité de ces informations constitue le socle

préalable à l'élaboration d'un modèle hydrogéologique conceptuel et conditionne la validité du modèle hydrogéologique maillé qui pourrait être élaboré. Ainsi ces points de blocage doivent être au préalable levés, en se concentrant tout particulièrement sur la quantification des flux d'échanges nappe/rivière (choix du modèle conceptuel) et sur la mise en place de points de suivi en continu de l'hydrosystème sur les secteurs amont et sur le bassin de la Sévenne (points de calage du modèle). Le bassin versant de la Véga dispose, dès à présent, d'une densité de points de suivi des niveaux piézométriques qui peut être jugée satisfaisante, néanmoins l'absence de points de suivi du débit de la Véga en amont du bassin limite là encore la mise en œuvre d'un modèle hydrogéologique dit « maillé ».

6.2. RECOMMANDATIONS POUR AMELIORER LE DISPOSITIF DE SUIVI ACTUEL DE LA RESSOURCE

L'acquisition de mesures sur les points de suivi actuels devra être poursuivie (pour les points de suivi de niveaux piézométriques, a minima sur les points de référence proposés sur l'illustration 16). Par ailleurs, compte tenu des limites de connaissances formulées précédemment, de nouveaux points de suivi devront être mis en place :

- Suivi du débit des rivières : implantation de stations en amont du bassin (pour plus de détail on se référera aux résultats de l'étude SOGREA/ASCONIT) ;
- Suivi des niveaux piézométriques : implantation de points de suivi sur l'aquifère des alluvions fluvio-glaciaires pour les sous-secteurs Sévenne amont, Sévenne aval, Gère amont et sur l'aquifère de la molasse (il n'existe actuellement aucun point de suivi pour cette nappe).

Nous rappelons ici que parmi les 5 points de référence retenus pour une modélisation Pluie-Niveau GARDENIA, 3 points de suivi piézométrique sont directement associés à des prélèvements d'eau. Il s'agit du prélèvement AEP du puits de Lafayette (N°BSS : 07235X0011, Code AERMC : 138389001), du prélèvement AEP du forage Carloz (N°BSS : 007472X0012, Code AERMC : 138399002) et du prélèvement AEP de Gemens (N°BSS : 07463X0008 et 07463X0054, Code AERMC : 138157001). Pour le choix des nouveaux points à intégrer dans le réseau de suivi du niveau piézométrique des aquifères, il pourrait être pertinent de retenir des piézomètres associés à des ouvrages prélevés pour l'AEP. En effet les travaux de la phase 1 de cette étude ont montré que, sur le bassin des 4 Vallées, près de 71 % des prélèvements d'eaux souterraines (et 64 % des prélèvements tous milieux confondus) correspondaient à des prélèvements pour un usage AEP (pour plus de détail voir la partie 4. *Les prélèvements en eau* du rapport BRGM/RP-59220-FR), il apparaît donc important d'orienter le futur réseau piézométrique vers le suivi spécifique de cet usage.

6.3. PROPOSITIONS RELATIVES A LA MISE EN PLACE D'UN DISPOSITIF D'ALERTE POUR LES EAUX SOUTERRAINES

6.3.1. Limites actuelles relatives à la détermination de volumes maximums prélevables pour les eaux souterraines

En l'état actuel des connaissances de nombreux flux du bilan hydrologique moyen sur le bassin versant des 4 Vallées restent insuffisamment connus, on citera les principaux : les relations nappe/rivière et les échanges entre l'aquifère des alluvions fluvio-glaciaires et l'aquifère de la molasse. L'absence de quantification précise de ces flux empêche actuellement la quantification du volume maximum prélevable pour les eaux souterraines sur la base du fonctionnement hydrodynamique des aquifères.

6.3.2. Principe de gestion proposé en l'attente de l'acquisition de nouvelles connaissances

Les résultats de simulations des niveaux piézométriques après 4 années successives de type « année hydrologique moyenne 2003-2004 », semblent montrer que pour les années où la recharge est égale ou supérieure à la moyenne, les prélèvements actuels n'engendrent pas un déficit des ressources en eaux souterraines. A partir de ce constat, et dans l'attente d'acquérir de nouvelles connaissances sur le bilan hydrologique global du système, le volume autorisé au prélèvement pour les eaux souterraines, par principe de précaution, pourrait être égal au volume actuellement prélevé (globalement équivalent au volume prélevé pour l'année hydrologique 2003-2004).

Nous proposons néanmoins que ce volume autorisé au prélèvement soit modulé en fonction de la situation hydro-climatologique de l'année hydrologique en cours :

- Si la recharge est au moins équivalente à la recharge de l'année hydrologique 2003-2004, les prélèvements ne feront l'objet d'aucune restriction particulière ;
- Si la recharge est inférieure à la recharge de l'année hydrologique 2003-2004, les prélèvements feront l'objet de restrictions graduées en fonction de la sévérité du déficit de recharge observé.

6.3.3. Critères d'évaluation de la situation hydro-climatologique

Des critères simples, pouvant constituer un dispositif d'alerte, ont été recherchés pour évaluer la situation hydro-climatologique de l'année en cours. L'objectif de ce dispositif d'alerte est de pouvoir établir au plus tôt s'il existe un risque de sécheresse afin d'engager, dans les meilleurs délais, les mesures nécessaires pour empêcher une dégradation de la quantité des ressources en eau et prévenir ainsi les conflits d'usage qui pourraient advenir.

Nous proposons que l'évaluation de la situation hydro-climatologique sur le bassin des 4 Vallées se base sur l'exploitation successive des données suivantes :

- Cumul de la pluie efficace depuis le 1^{er} septembre pour l'année hydrologique en cours, calculé à partir des données de Pluie efficace disponibles pour la station Météo-France de Bron ;
- Niveau piézométrique mesuré pour l'année hydrologique en cours sur les points de référence proposés dans le cadre de cette étude (Illustration 16).

La comparaison de ces données avec les données de l'année hydrologique 2003-2004 (définie comme une année moyenne pour le bassin des 4 Vallées), décrite ci-après, doit permettre d'évaluer le risque de sécheresse de l'année hydrologique en cours.

a) Cumul de la pluie efficace depuis le 1er septembre

L'alimentation en eau des aquifères sur le bassin versant des 4 Vallées est assurée essentiellement par la pluie efficace sur l'année hydrologique en cours et dépend donc de la hauteur des pluies en hiver. Les pluies d'été participent peu à l'alimentation des aquifères, elles contribuent cependant à couvrir le besoin des plantes et leur occurrence empêche donc l'accentuation d'une situation de sécheresse déjà engagée (moins de prélèvements agricoles dans ce cas). On rappellera ici que notre étude a permis de vérifier la fiabilité des données de pluie efficace calculées par Météo-France sur la station météorologique de Bron pour caractériser la recharge des aquifères sur le bassin versant des 4 Vallées.

Sur l'illustration 33, est reporté le cumul de la pluie efficace depuis le 1^{er} septembre (P EFF cumulée depuis septembre) par rapport à la pluie efficace totale de l'année hydrologique moyenne 2003-2004 (P EFF annuelle de l'année 2003-2004 = 352 mm) tout au long du cycle hydrologique :

- La courbe en bleu correspond à l'année hydrologique 2003-2004 ;
- Les courbes en noir correspondent aux années hydrologiques présentant une valeur annuelle de Pluie efficace comparable à la valeur de Pluie efficace de l'année hydrologique 2003-2004 (années hydrologiques 1990-1991, 1992-1993, 1995-1996, 1996-1997, 1998-1999, 1999-2000, 2004-2005, 2008-2009) ;
- Les courbes en rose, jaune, rouge et marron correspondent aux années hydrologiques dites « critiques » identifiées dans le cadre de cette étude (respectivement les années hydrologiques 1989-1990, 1997-1998, 2006-2007, 2007-2008).

On distingue deux domaines :

- En bleu est figuré le domaine où le cumul de la pluie efficace calculée pour l'année hydrologique en cours est supérieur à la valeur observée à la même période pour des années hydrologiques présentant une valeur annuelle de Pluie efficace (années hydrologiques 1990-1991, 1992-1993, 1995-1996, 1996-1997, 1998-1999, 1999-2000, 2004-2005, 2008-2009) comparable à la valeur de Pluie efficace de l'année hydrologique 2003-2004 (352 mm).

- En orange est figuré le domaine où le cumul de la pluie efficace calculée pour l'année hydrologique en cours est inférieur à la valeur observée à la même période pour des années hydrologiques présentant une valeur annuelle de Pluie efficace (années hydrologiques 1990-1991, 1992-1993, 1995-1996, 1996-1997, 1998-1999, 1999-2000, 2004-2005, 2008-2009) comparable à la valeur de Pluie efficace de l'année hydrologique 2003-2004 (352 mm).

On notera que les valeurs calculées pour les années hydrologiques identifiées sur le bassin versant des 4 Vallées comme correspondant à une faible recharge des aquifères (années hydrologiques 1989-1990, 1997-1998, 2006-2007 et 2007-2008 ; pour plus de détail on se référera au rapport BRGM/RP-59220-FR 3.2.2. *Identification d'années caractéristiques*) sont toutes très inférieures aux valeurs mesurées pour l'année hydrologique 2003-2004 (Illustration 33). Ce résultat illustre que le report du cumul de la pluie efficace de l'année en cours sur ce graphique pourrait permettre pour ces années de détecter, dans la majorité des cas dès le mois de novembre, si l'année en cours présente un déficit de recharge et donc potentiellement un risque de sécheresse élevé. Ainsi le cumul de la pluie efficace depuis le 1^{er} septembre de l'année en cours pourrait être un critère pertinent pour évaluer si le risque de sécheresse est faible (valeur positionnée dans l'enveloppe bleue sur l'illustration 33) ou élevé (valeur positionnée dans l'enveloppe orange sur l'illustration 33).

Ainsi, si l'on reporte le rapport suivant pour l'année hydrologique en cours (données disponibles auprès de Météo-France pour la station de Bron) :

$$\frac{PEFF \text{ cumulée depuis septembre}}{P \text{ EFF annuelle de l'année } 2003 - 2004}$$

à tout moment de l'année hydrologique le graphique présenté sur l'illustration 33 permet d'avoir une indication sur la situation hydro-climatologique (risque de sécheresse faible, domaine en bleu, ou élevé, domaine en orange). Pour délimiter la limite entre les domaines en bleu et en orange, volontairement plusieurs années hydrologiques ont été considérées afin de prendre en considération une diversité de conditions hydro-climatologiques pouvant assurer le maintien d'un niveau piézométrique des aquifères non pénalisant pour les usages de cette ressource sur le bassin versant des 4 Vallées. En effet la recharge de l'aquifère peut intervenir à différents moments entre septembre et avril. En revanche ce qu'il faut retenir c'est que globalement à partir du mois de mai aucune recharge importante de l'aquifère n'est plus à attendre.

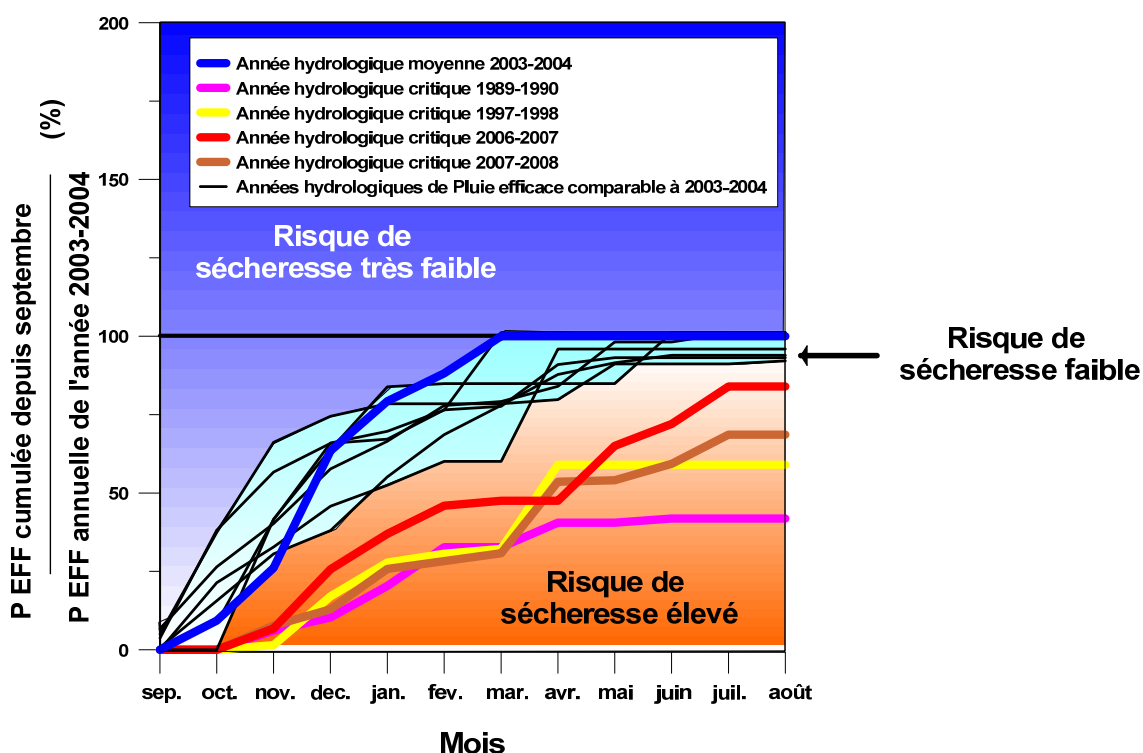


Illustration 33 : Évaluation de la situation hydro-climatologique à partir des valeurs cumulées de la pluie efficace (P EFF) fournies par Météo-France pour la station de Bron par rapport à la pluie efficace annuelle calculée pour l'année hydrologique moyenne 2003-2004 (352 mm).

b) Niveaux piézométriques observés

Les résultats de la phase 1 de cette étude (rapport BRGM/RP-59220-FR) ont montré que les niveaux piézométriques de l'aquifère des alluvions fluvio-glaciaires étaient d'excellents indicateurs de l'état de remplissage des nappes sur le bassin des 4 Vallées et permettent ainsi de suivre en continu l'évolution des réserves en eau. Sur l'illustration 34, l'illustration 35 et l'illustration 36, les enveloppes reportées correspondent à l'ensemble des niveaux piézométriques observés du 1^{er} août au 31 juillet pour les points de référence retenus dans le cadre de cette étude :

- en bleu les valeurs supérieures à l'année hydrologique moyenne 2003-2004 et pour lesquelles le risque de sécheresse est resté faible ;
- en orange les valeurs inférieures à l'année hydrologique moyenne 2003-2004 et pour lesquelles le risque de sécheresse était élevé.

Les niveaux piézométriques observés pour les années hydrologiques identifiées sur le bassin versant des 4 Vallées comme correspondant à une faible recharge des aquifères (années hydrologiques 1989-1990, 1997-1998, 2006-2007 et 2007-2008) sont également reportés sur l'illustration 34, l'illustration 35 et l'illustration 36. On

constate que pour ces 4 années hydrologiques de faible recharge des aquifères, dès le mois de janvier, les niveaux piézométriques observés étaient globalement inférieurs au niveau piézométrique observé pour l'année hydrologique moyenne 2003-2004. Ce résultat pourrait justifier que la comparaison, à partir du mois de janvier, du niveau piézométrique mesuré pour l'année en cours avec celui mesuré pour l'année hydrologique moyenne 2003-2004 (report sur les graphiques proposés sur l'illustration 34, l'illustration 35 et l'illustration 36) puisse être un critère pertinent pour évaluer le risque de sécheresse en cours d'année hydrologique (risque faible si le niveau piézométrique se positionne dans l'enveloppe bleue et risque élevé si le niveau piézométrique se positionne dans l'enveloppe orange). En plus des points de référence Lafayette, Carloz, Moidieu-Détourbe et Gemens, définis dans le cadre de cette étude, le piézomètre Cul de Bœuf figure dans la liste des piézomètres à suivre pour le territoire des 4 Vallées dans l'arrêté cadre « sécheresse » n° 2007-06819. A ce titre nous avons reporté sur l'illustration 37 la chronique du piézomètre de Cul de Bœuf en reprenant la représentation proposée précédemment pour identifier le risque de sécheresse en cours d'année hydrologique.

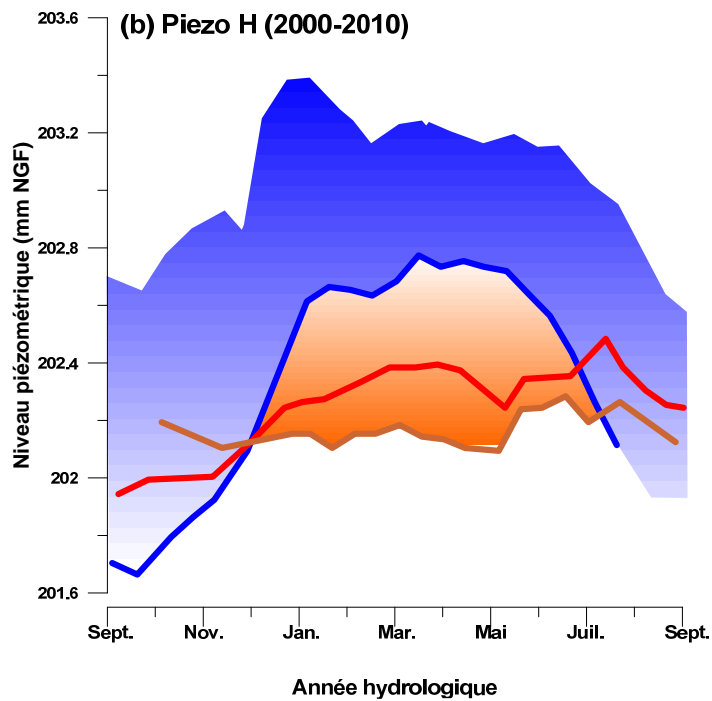
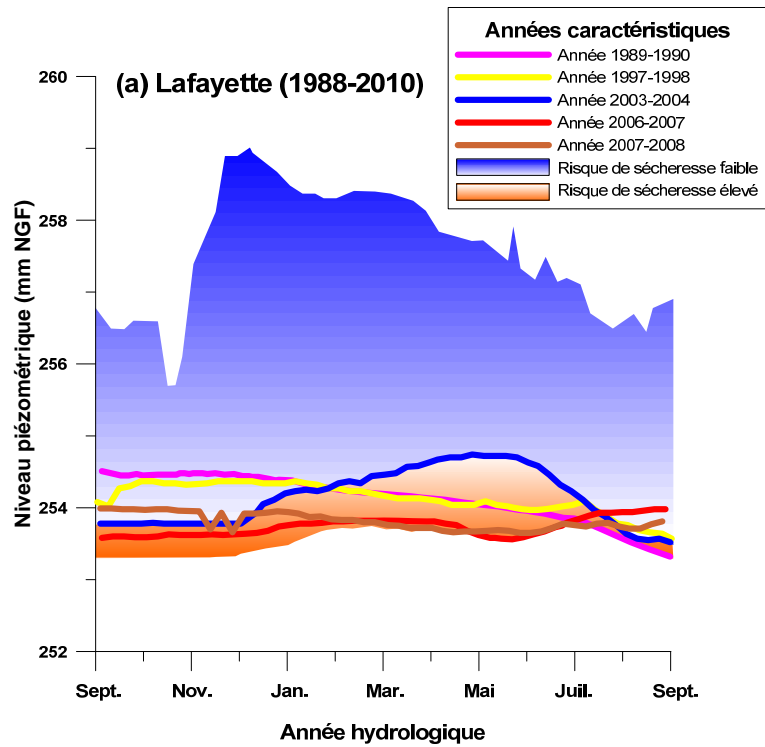


Illustration 34 : État des ressource en eau souterraine sur la vallée de la Véga à partir des niveaux piézométriques observés au puits de Lafayette (a) et au piézomètre H (b).

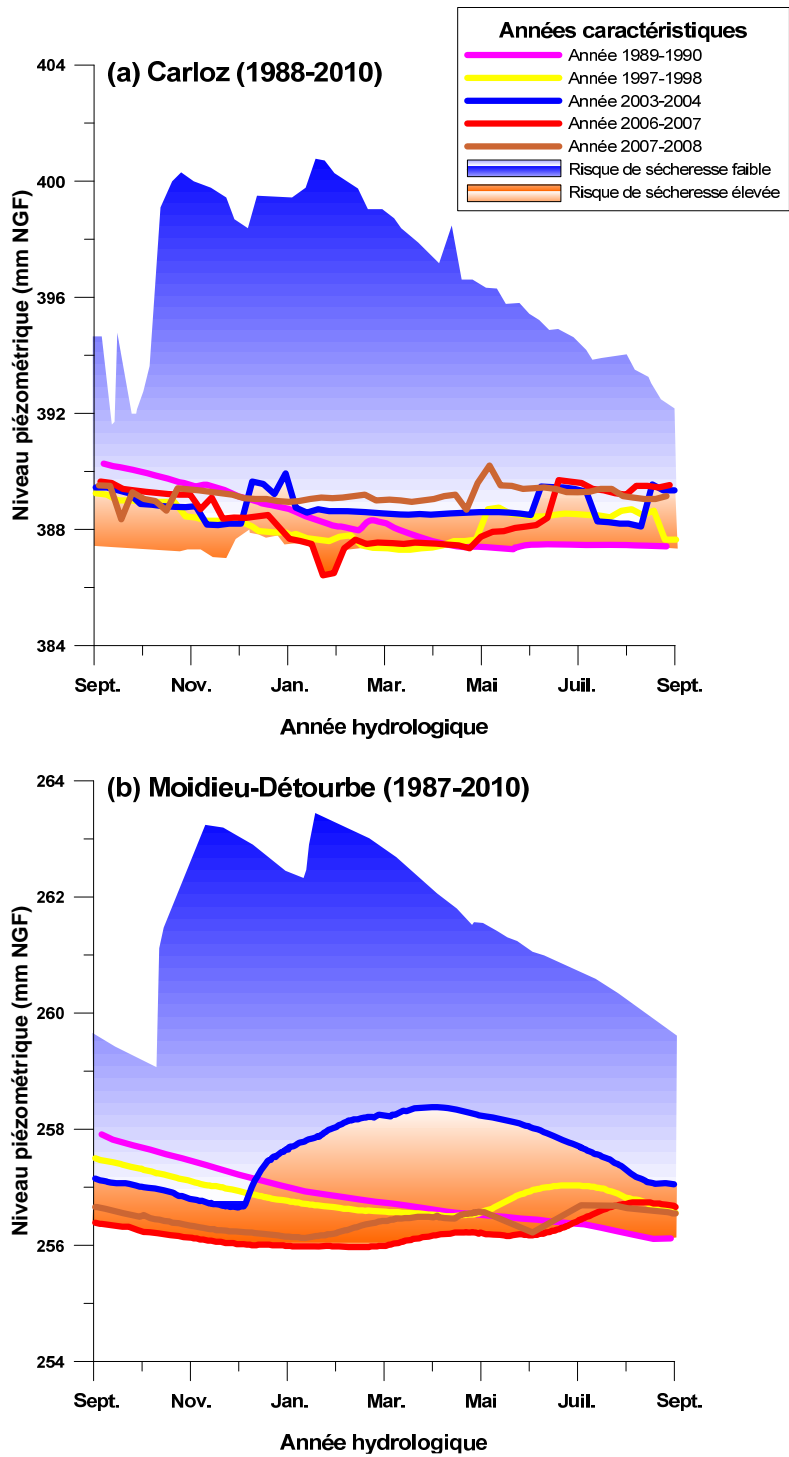


Illustration 35 : État des ressources en eau souterraine sur la vallée de la Vésonne à partir des niveaux piézométriques observés au forage Carloz (a) et au piézomètre Moidieu-Détourbe (b).

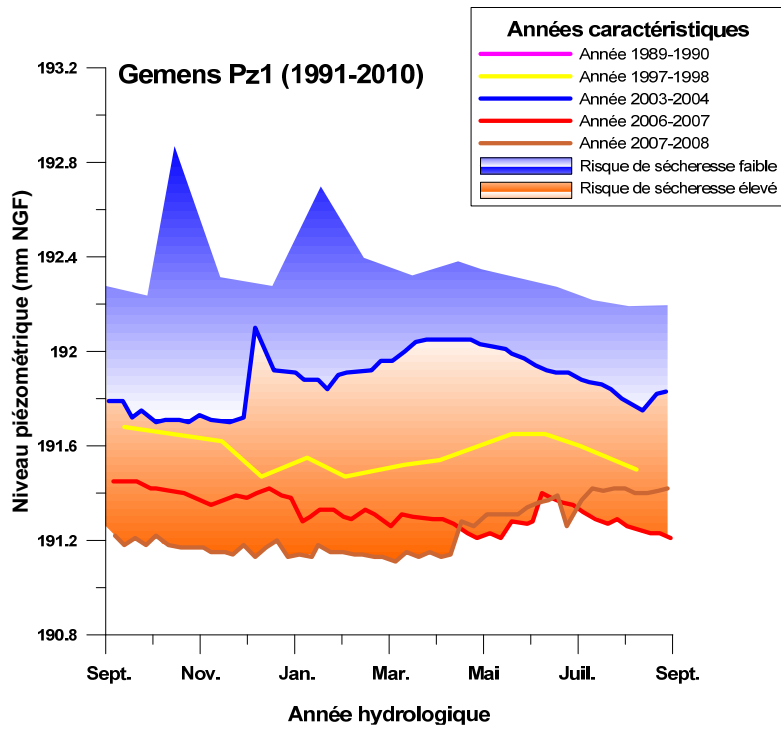


Illustration 36 : État des ressource en eau souterraine sur la vallée de la Gère à partir des niveaux piézométriques observés piézomètre Pz1 associé au forage de Gemens.

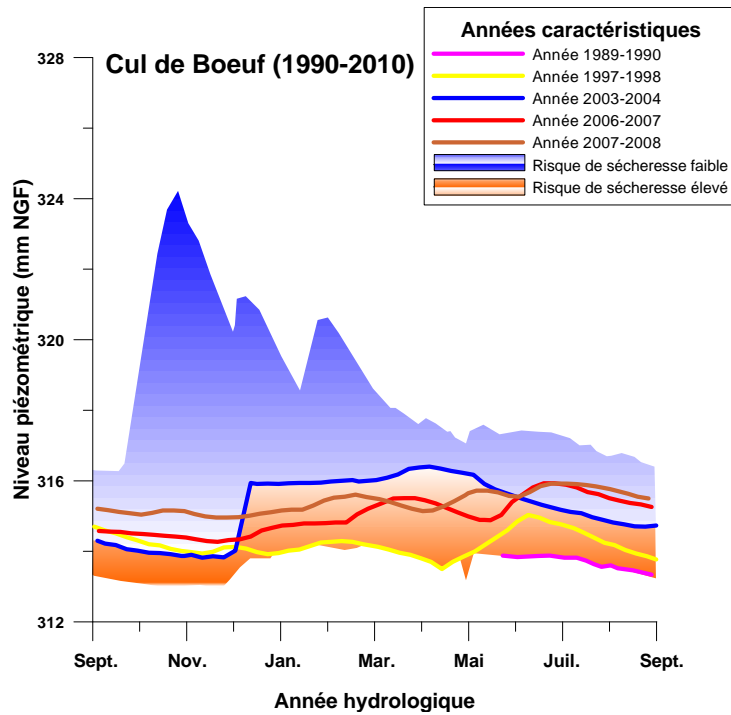


Illustration 37 : État des ressource en eau souterraine sur la vallée de la Vésonne à partir des niveaux piézométriques observés piézomètre Cul de Boeuf.

6.3.4. Insertion du dispositif d'alerte dans les règles de gestion volumique existantes

Sur le département de l'Isère, l'arrêté cadre « sécheresse » n° 2007-06819 du 31 juillet 2007, qui s'applique à l'ensemble du département, vise à définir des mesures coordonnées de gestion des usages de la ressource en eau lors des situations de sécheresse ou de pénurie. Cet arrêté cadre « sécheresse » porte sur les points suivants :

- délimitation de « bassins de gestion » où s'appliquent des mesures de limitation ou d'interdiction des prélèvements en période d'été de la ressource ;
- référencement de cinq « situations type » : normale, vigilance, risque de sécheresse (niveau 1), sécheresse avérée (niveau 2), sécheresse aggravée (niveau 3) ;
- définition des critères d'appréciation de la situation justifiant le déclenchement de mesures spécifiques adaptées ;
- définition de mesures de limitation ou d'interdiction des prélèvements adaptés à chacune des « situations type » selon les usages.

Des « valeurs guides », relatives aux statistiques de référence connues, grâce aux données météorologiques, au réseau ROCA ainsi que sur les stations limnimétriques (cours d'eau) et les piézomètres (nappes), sont établies et alimentent les propositions du comité de vigilance sécheresse.

Le référentiel de données et d'observations défini pour le territoire des 4 Vallées dans l'arrêté cadre « sécheresse » n° 2007-06819 est le suivant :

- la station météorologique de référence de Lyon-Bron (Météo-France) ;
- les stations piézométriques de référence de Carloz, Cul de Bœuf, Lafayette et Moidieu-Détourbe ;
- la station hydrologique de référence de la Véga à Pont-Evêque ;
- les stations ROCA de référence de la Gère à Meyssiez, de la Gervonde à Savas-Mépin et de la Vésonne à Estrablin.

Le passage de la situation « vigilance » à « risque de sécheresse (niveau 1) » est constaté par arrêté préfectoral et motivé par le dépassement des seuils suivant :

- « pour les cours d'eau, le 1/5^e du module interannuel du cours d'eau, ou le VCN3 mensuel ayant une probabilité 1/5 de se produire chaque année (VCN3 de fréquence de retour une année sur 5) si ce dernier est supérieur » (arrêté cadre « sécheresse » n° 2007-06819) ;
- « pour les nappes, lorsque le niveau de nappe est inférieur au niveau moyen mensuel relevé sur l'ouvrage de suivi, ayant une probabilité 1/5 de se produire chaque année (« altitude » de la nappe de fréquence de retour un an sur 5) » (arrêté cadre « sécheresse » n° 2007-06819).

Les principes actuels de gestion des sécheresses étant rappelés (pour plus de détails on pourra se référer au partie 2.3.2. *La gestion des sécheresses* du rapport de phase 1 BRGM/RP-59220-FR), les résultats de notre étude proposent des pistes d'améliorations possibles du dispositif d'alerte actuel. L'objectif de ces améliorations est de tendre vers une gestion quantitative des ressources en eau sur le bassin versant des 4 Vallées.

a) Référentiel

En plus des stations piézométriques de référence de Carloz, Cul de Bœuf, Lafayette et Moidieu-Détourbe (qui ont fait l'objet de modélisations Pluie-Niveau GARDENIA), la chronique piézométrique du piézomètre H sur la vallée de la Véga (enregistrement des niveaux depuis 2000) pourrait être immédiatement intégrée dans le dispositif de suivi de la ressource. Par la suite, d'autres points devront être créés sur les sous-secteurs Sévenne amont, Sévenne aval, Gère amont (pour plus de détail on se référera à la partie 6.2. *Recommandations pour améliorer le dispositif de suivi actuel de la ressource*).

b) Critères d'alerte

Les critères d'évaluation de la situation hydro-climatologique) proposés dans cette étude (cumul de la pluie efficace depuis le 1er septembre pour les données de la station Météo-France de Bron et niveau piézométrique mesuré pour l'année en cours pourraient servir à identifier **le passage de la situation de « vigilance » à « risque de sécheresse (niveau 1) »** de l'arrêté préfectoral » n° 2007-06819 (passage qui justifie le déclenchement de mesures spécifiques adaptées). A titre d'exemple, pour l'année 2008, le niveau « risque de sécheresse » a été atteint sur le territoire des 4 Vallées et a justifié la décision de restriction provisoire sur les eaux souterraines de certains usages de l'eau sous l'arrêté préfectoral n° 2008-06435 du 21 juillet 2008 (Illustration 8). L'examen des valeurs cumulées de la pluie efficace (P EFF) fournies par Météo-France pour la station de Bron (Illustration 33), inférieures dès octobre 2007 aux valeurs cumulées pour l'année hydrologique moyenne 2003-2004, confirmé par l'examen des niveaux piézométriques de la nappe, majoritairement inférieurs dès janvier 2008 aux valeurs mesurées pour l'année hydrologique moyenne 2003-2004 (Illustration 34, Illustration 35 et Illustration 36) justifie cette prise de décision pour l'année 2008. Ainsi, les critères d'évaluation de la situation hydro-climatologique proposés dans cette étude, si ils avaient été utilisés comme critères d'alerte sur l'année 2008, auraient permis d'envisager un risque de sécheresse pour l'année 2008 dès les mois d'avril-mai (fin de période des pluies efficaces d'hiver). De la même manière pour les années hydrologiques 1989-90 et 1997-1998, l'examen des niveaux piézométriques de la nappe montrent dès le mois de janvier des niveaux inférieurs à ceux observés pour l'année hydrologique 2003-2004. Ce qui justifie là encore la pertinence des graphiques proposés (Illustration 34, Illustration 35 et Illustration 36) pour anticiper des situations hydroclimatologiques pénalisantes pour les ressources en eau du bassin.

6.4. DISPOSITIONS DU SDAGE

6.4.1. Objectifs de niveau de nappe

Le SDAGE Rhône Méditerranée prévoit la caractérisation de 2 types de niveau d'objectif pour les nappes :

- Niveau Piézométrique d'Alerte (NPA) : « niveaux piézométriques de début de conflits d'usages et de premières limitations de pompages »
- Niveau Piézométrique de Crise Renforcée (NPCR) : « niveau à ne jamais dépasser et donc d'interdiction des pompages à l'exception de l'alimentation en eau potable, qui peut faire l'objet de restrictions ». Ce niveau est également, dans cas où les eaux souterraines seraient en relations étroites avec les eaux de rivière, la côte piézométrique en dessous de laquelle la survie des milieux aquatiques est mise en péril (non-respect des Débit de Crise Renforcée (DCR)).

Le Niveau Piézométrique d'Alerte (NPA) doit à la fois permettre de satisfaire tous les usages 8 années sur 10 et à la fois permettre le respect du bon état quantitatif qui est destiné à maintenir l'équilibre entre les volumes entrant et sortant à l'échelle interannuelle (critère patrimonial).

Sur le bassin des 4 Vallées, selon l'avis des usagers directs de la nappe, les conditions de NPA (début de conflit d'usages) n'ont jamais été distinctement atteintes par le passé (pour plus de détail, on se réfèrera à la partie 2.3.3. *Conflits d'usage exprimés* du rapport de phase 1, BRGM/RP-59220-FR). Ainsi la démarche proposée dans le cadre du SDAGE Rhône Méditerranée nécessite des adaptations afin de répondre à l'objectif de définition de volumes maximums prélevables. Compte tenu du fonctionnement des aquifères sur le bassin des 4 Vallées et des limites de connaissances actuelles, nous proposons plusieurs approches qui permettraient de calculer la courbe de NPA sur les points stratégiques de référence retenus dans le cadre du SDAGE Rhône Méditerranée.

Approche 1 :

Un important contrôle des conditions hydroclimatologiques sur les niveaux des nappes a été mis en évidence (partie 4.2. *Influence du contexte hydro-climatologique*). Sur l'illustration 38 est représentée la répartition des pluies efficaces annuelles mesurées entre 1971 et 2009. L'année hydrologique 2003-2004, identifiée sur le bassin comme une année moyenne, présente une fréquence d'apparition de 1 année sur 2 (fréquence temporelle $\approx 0,5$). D'après ce graphique, la hauteur de pluie efficace qui est atteinte au minimum 8 années sur 10 (fréquence temporelle $\approx 0,2$) est proche la hauteur de pluie efficace atteinte pour l'année hydrologique 2007-2008. Compte tenu de ces informations cela signifie que si l'on considère un volume maximum prélevable pour les eaux souterraines équivalent au volume actuel prélevé ($\approx 12 \text{ Mm}^3$ sur tout le bassin, Illustration 32) et en l'absence de conflits d'usages observés sur la nappe pour ces prélèvements, les niveaux piézométriques observés seraient 8 années sur 10

supérieurs à ceux observés pour l'année hydrologique 2007-2008. En d'autres termes la courbe piézométrique observée pour l'année hydrologique 2007-2008 et présentée sur l'illustration 39, l'illustration 40 et l'illustration 41 pourrait servir de référence pour calculer la courbe de NPA sur les points stratégiques de référence retenus dans le cadre du SDAGE Rhône Méditerranée. Sur ces graphiques, il est à noter que la prise en compte de la courbe piézométrique observée pour l'année hydrologique 2007-2008 s'avère beaucoup moins contraignante que la prise en compte de la courbe piézométrique observée pour l'année hydrologique moyenne 2003-2004 telle que proposée dans la partie 6.3. *Propositions relatives à la mise en place d'un dispositif d'alerte pour les eaux souterraines.*

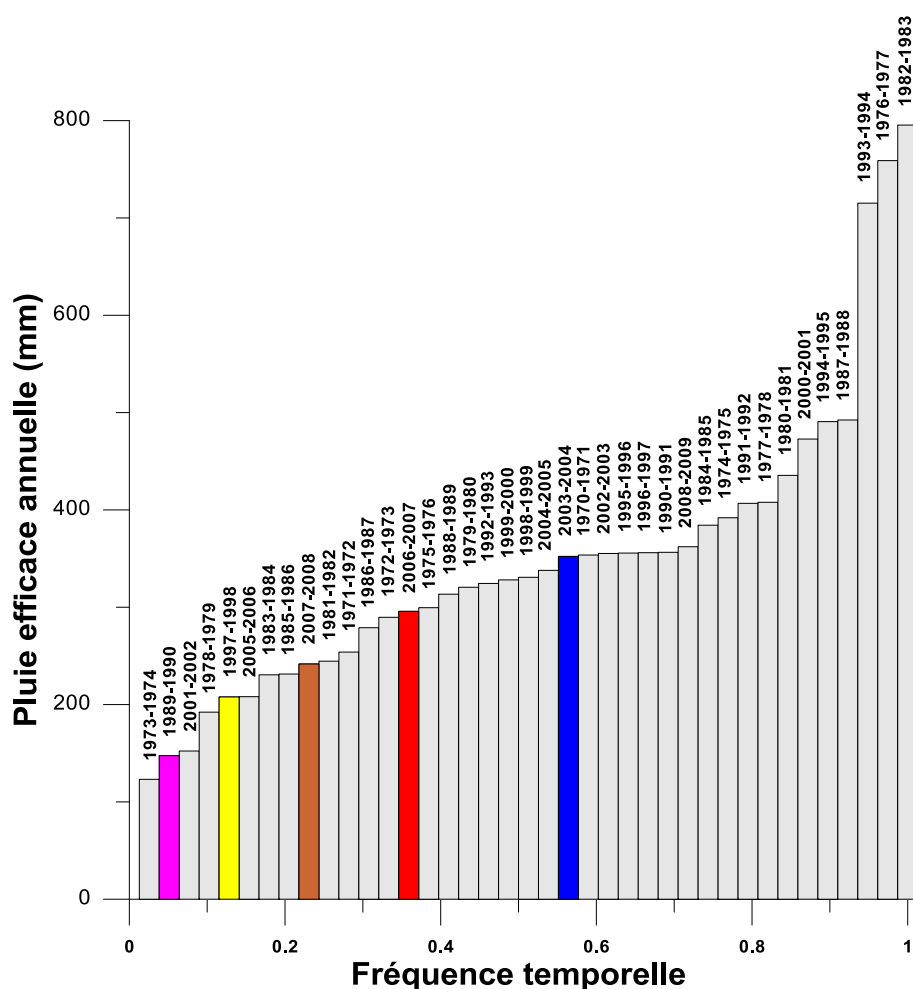


Illustration 38 : Répartition des pluies efficaces annuelles mesurées entre 1971 et 2009 par fréquence temporelle croissante.

Approche 2 :

La simulation sous GARDENIA de la piézométrie de l'aquifère des alluvions fluvio-glaciaires en réponse à la répétition de 4 années « sèches » (scénarios 11 à 15, Illustration 19) pourrait également appuyer le calcul des courbes de NPA pour les points stratégiques de référence retenus dans le cadre du SDAGE Rhône Méditerranée. De la même manière que pour l'Approche 1, si l'on considère un volume maximum prélevable pour les eaux souterraines équivalent au volume actuel prélevé ($\approx 12 \text{ Mm}^3$ sur tout le bassin, Illustration 32) et en l'absence de conflits d'usages observés sur la nappe pour ces prélèvements, les niveaux piézométriques minimums simulés pour 2 années « sèches » sur 10 pourraient servir de base au calcul de la courbe de NPA (Niveau Piézométrique d'Alerte qui doit permettre de satisfaire tous les usages 8 années sur 10).

Les niveaux piézométriques correspondant aux deux approches proposées et relatifs aux points stratégiques de référence identifiés dans le cadre de cette étude sont représentés sur l'illustration 39, l'illustration 40 et l'illustration 41. Ces deux approches sont aboutissent à des niveaux piézométriques globalement équivalents (la différence de niveau piézométrique entre les deux approches est inférieure à 50 cm). Compte tenu du fait que la courbe piézométrique observée pour l'année hydrologique 2007-2008 sur le forage de Carloz se trouve dans l'ensemble supérieure à celle observée pour l'année hydrologique moyenne 2003-2004 et par soucis d'homogénéité à l'échelle du bassin nous proposons de retenir préférentiellement l'approche 2 (niveaux piézométriques minimums simulés pour 2 années « sèches » sur 10).

Les approches proposées mériteraient d'être affinées ultérieurement compte tenu du rôle joué par les relations nappe/rivière sur le bassin. En effet les courbes de NPA doivent être calculées de manière à respecter le Débit Objectif d'Etiage (DOE) identifié sur les rivières, or en l'absence actuelle de quantification des flux régissant les relations nappe/rivière sur le bassin (voir partie 6.1. *Limites des connaissances actuelles*), ce calcul est difficilement réalisable. De la même manière le calcul du Niveau Piézométrique de Crise Renforcée (NPCR) doit tenir compte du respect du Débit de Crise Renforcée (DCR).

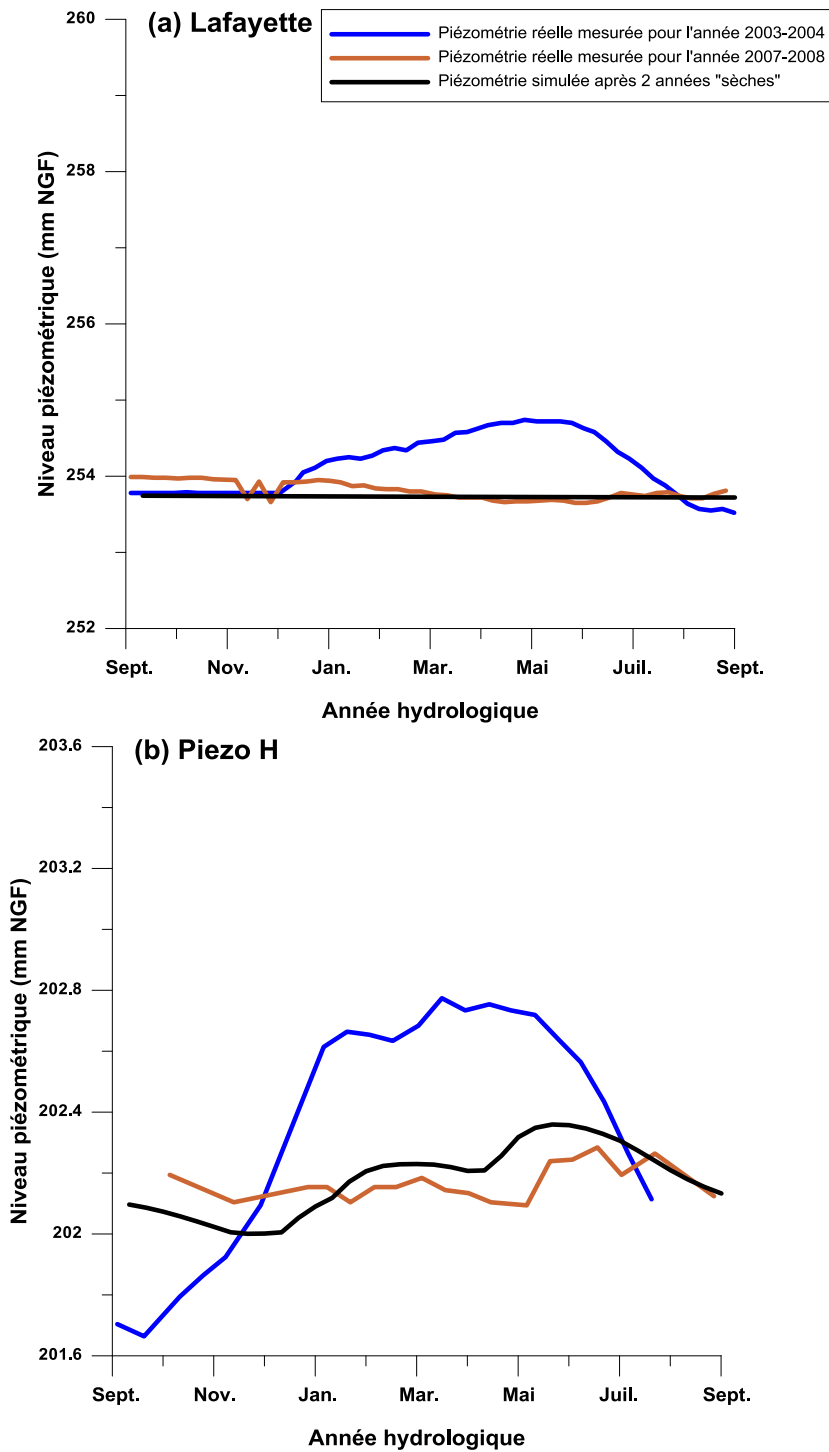


Illustration 39 : Approches proposées (Approche 1= piézométrie mesurée pour l'année 2007-2008 et Approche 2= piézométrie simulée après 2 années sèches) pour calculer la courbe de NPA pour le puits de Lafayette (a) et le piézomètre H (b).

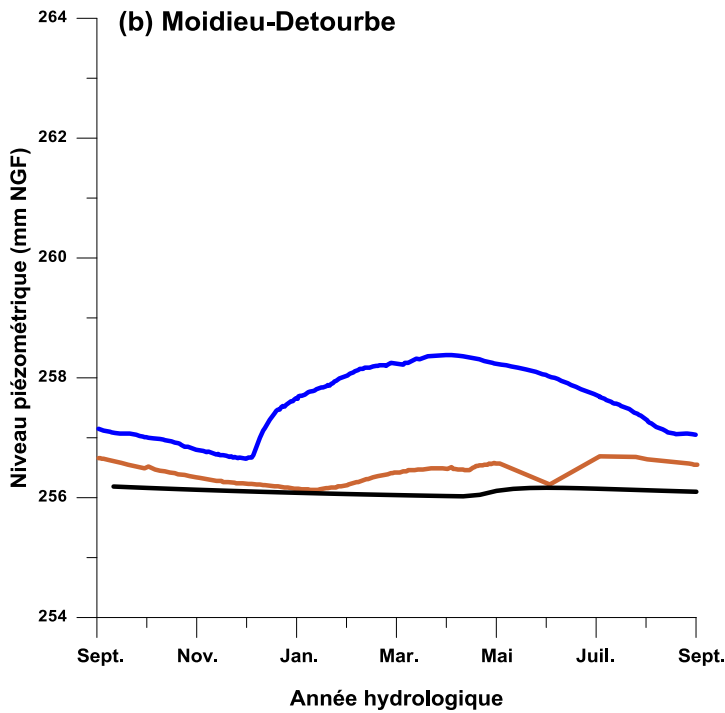
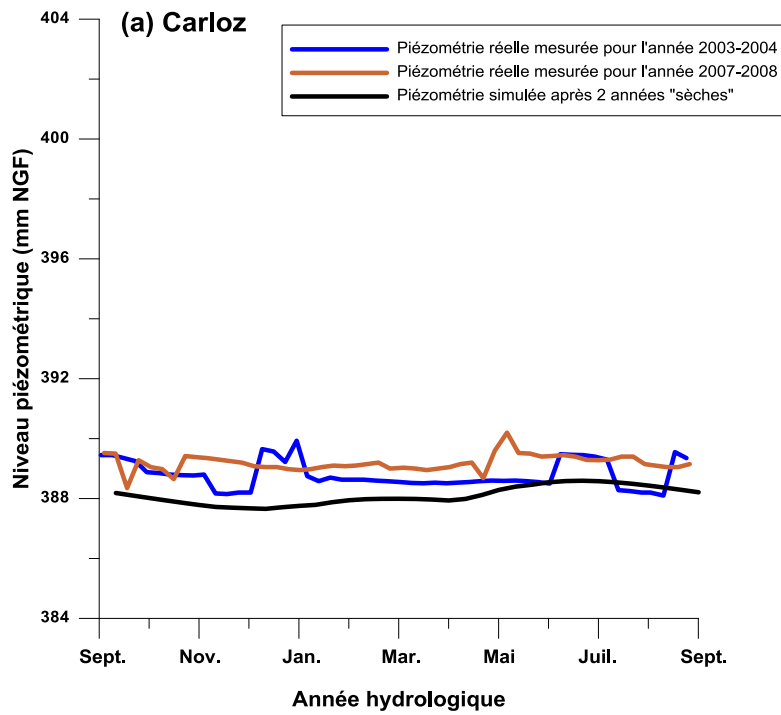


Illustration 40 : Approches proposées (Approche 1= piézométrie mesurée pour l'année 2007-2008 et Approche 2= piézométrie simulée après 2 années sèches) pour calculer la courbe de NPA pour le forage de Carloz(a) et le puits Moidieu-Détourbe(b).

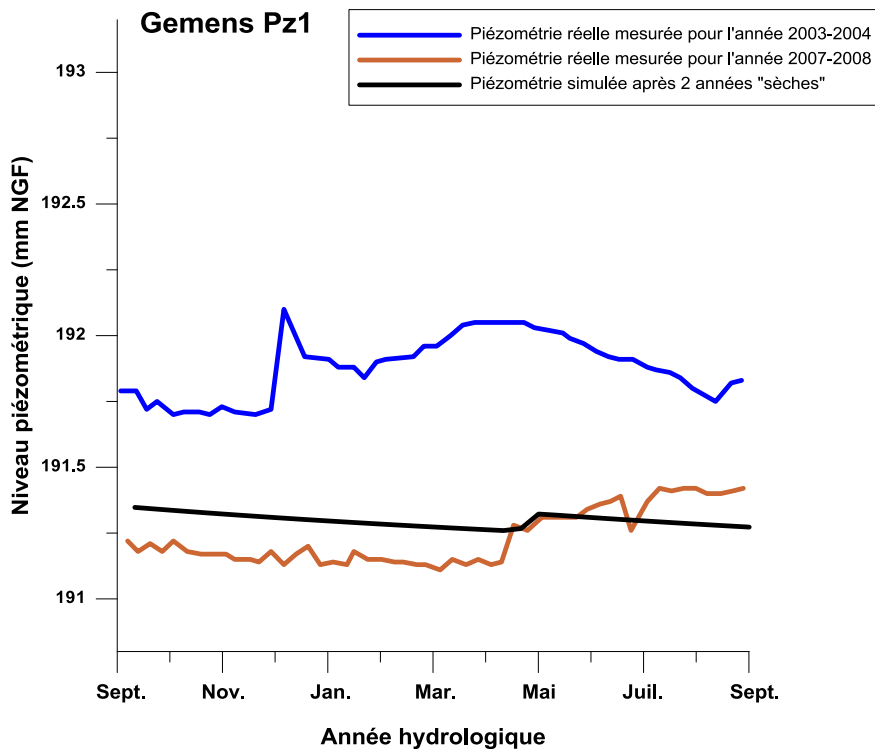


Illustration 41 : Approches proposées (Approche 1= piézométrie mesurée pour l'année 2007-2008 et Approche 2= piézométrie simulée après 2 années sèches) pour calculer la courbe de NPA pour piézomètre Pz1 associé au captage de Gemens.

6.4.2. Volumes maximums prélevables

Comme nous l'évoquons dans la partie 6.1. Limites des connaissances actuelles, en l'absence de quantification précise de différents flux d'eau, et principalement celui régissant les relations nappe/rivière, le volume maximum qui peut être prélevé sur les eaux souterraines, tout en garantissant l'équilibre hydrodynamique des aquifères, ne peut être actuellement évalué précisément.

Cependant, fort du constat que sur les eaux souterraines aucun conflit d'usage et aucune baisse systématique des niveaux piézométriques n'aient été observés par le passé, une position provisoire peut être adoptée dans l'attente de l'acquisition de nouvelles connaissances. Cette position consiste à considérer que les prélèvements actuels sur l'aquifère des alluvions fluvio-glaciaires sont acceptables pour le bon état patrimonial de la ressource en eaux souterraines. En d'autres termes nous proposons de fixer dans un premier temps le volume maximum prélevable sur les eaux souterraines à $\approx 12 \text{ Mm}^3$ sur tout le bassin, en reprenant une répartition spatiale et une répartition par usages conforme à la situation observée pour l'année hydrologique moyenne 2003-2004 (Illustration 32).

Pour les eaux de surface, l'étude SOGREAH/ASCONIT, (rapport de phase 2 SOGREAH/ASCONIT, 2011b) a permis de proposer, pour la période d'étiage, les ordres de grandeur suivants pour les flux d'eaux souterraines alimentant les eaux de rivière :

- 150 L/s sur l'aval de la Sévenne
- 500 L/s sur l'aval de la Véga
- 1700 L/s sur l'aval de la Gère

Si l'on considère les prélèvements en eaux souterraines moyens réalisés sur la période d'étiage d'une année hydrologique moyenne (juin à août de l'année hydrologique 2003-2004), ces prélèvements représentent moins de 20% du flux d'eaux souterraines alimentant les rivières en aval des bassins de la Sévenne et de la Gère et moins de 10% du flux d'eaux souterraines alimentant la Véga (prélèvements moyens en période d'étiage calculés en intégrant l'ensemble des bassins versants de la Sévenne, de la Véga et de la Gère respectivement de 17 L/s, 32 L/s et 310 L/s). Cette comparaison abonde dans le sens d'un impact probablement limité des prélèvements d'eaux souterraines sur le débit des rivières en période d'étiage. Ainsi la position provisoire qui consiste à prendre en compte un volume maximum prélevable sur les eaux souterraines comparable au volume actuellement prélevé ($\approx 12 \text{ Mm}^3$ sur tout le bassin, voir plus haut) pourrait également être retenue pour le bon état quantitatif de la ressource en eau de surface.

7. Conclusion

L'étude menée s'inscrit dans la démarche globale de développement d'une gestion volumique des ressources en eau dans le cadre du SDAGE Rhône-Méditerranée. Sur le territoire des 4 Vallées, en raison du rôle important joué par les relations nappe/rivière dans le fonctionnement de l'hydrosystème, deux études ont été menées en parallèle l'une se concentrant sur les eaux souterraines (la présente étude), l'autre sur les eaux superficielles (étude SOGREAH/ASCONIT).

La synthèse des connaissances existantes et la modélisation des écoulements suivant une approche globale (modèle GARDENIA) ont permis de faire progresser la connaissance sur le fonctionnement de l'aquifère des alluvions fluvio-glaciaires sur le bassin versant des 4 Vallées. Les principaux résultats à retenir sont que cet aquifère présente un temps de réponse relativement court aux recharges saisonnières, aussi les conditions hydro-climatologiques de l'année hydrologique en cours exercent un important contrôle sur les niveaux piézométriques observés. Compte tenu des conditions de pluviométrie et des prélèvements en eau actuels, aucun déficit chronique significatif n'est observé sur les eaux souterraines de l'aquifère des alluvions fluvio-glaciaires. L'importance des relations nappe/rivière a été précisée, sans qu'il ne soit possible, compte tenu des données existantes, de quantifier précisément les flux de ces relations. En amont du bassin versant, les rivières s'infiltrent vers l'aquifère des alluvions fluvio-glaciaires contribuant probablement de manière indirecte à l'alimentation des aquifères (l'écoulement rapide ou direct des eaux de rivières vers les eaux souterraines étant a priori négligeable). Sur la partie aval du bassin, l'aquifère des alluvions fluvio-glaciaires alimente les rivières (la remontée du substratum cristallin constituant sur ce secteur un obstacle aux écoulements souterrains). Nous avons cherché à quantifier les différents termes du bilan hydrogéologique de l'hydrosystème du bassin des 4 Vallées pour l'année hydrologique moyenne 2003-2004. Au moins deux termes importants ne peuvent être quantifiés précisément : le flux des relations nappe/rivière et le flux des échanges entre l'aquifère des alluvions fluvio-glaciaires et l'aquifère de la molasse. En l'absence de quantification précise de ces flux, le volume maximum qui peut être prélevé sur les eaux souterraines, tout en garantissant l'équilibre hydrodynamique des aquifères, ne peut être actuellement évalué précisément.

Ce travail a permis également de faire progresser les connaissances sur l'impact des prélèvements d'eau sur l'hydrosystème. Sur les secteurs amonts, les eaux souterraines sont fortement déconnectées du réseau des eaux de surface. Ainsi les prélèvements en eaux souterraines restent sans impact sur le débit des rivières. Sur les secteurs avals des vallées de la Sévenne, de la Véga et de la Gère en revanche, les prélèvements d'eaux souterraines peuvent avoir un impact sur le débit des rivières. A partir des simulations engagées dans cette étude, une estimation du « gain » sur le débit des rivières que l'on pourrait atteindre si tous les prélèvements en eaux souterraines étaient arrêtés a été proposée. Ce gain estimé dépend bien évidemment de l'ampleur des pressions existantes sur les prélèvements et ne dépasserait pas, pour la Véga aval et la Gère aval, 20% du débit de ces rivières à l'étiage. Pour l'aquifère des

alluvions fluvio-glaciaires, seuls les prélèvements d'eaux souterraines ont a priori un impact sur les niveaux piézométriques observés. Cet impact reste globalement faible mais les résultats obtenus dans le cadre de cette étude présentent un caractère global. Il est possible que les prélèvements d'eaux souterraines puissent localement entraîner une baisse des niveaux piézométriques suffisamment importante pour être à l'origine de conflits entre les différents utilisateurs des ressources en eau. Par ailleurs, on évoquera le cas des prélèvements d'eaux souterraines situés suffisamment proches des cours d'eau pour être considérés en nappe d'accompagnement des rivières. De tels prélèvements peuvent avoir un impact immédiat et non-négligeable sur le débit des cours d'eau quelque soit l'endroit (amont/aval) où l'on se trouve sur le bassin. Seule la mise en place d'un modèle hydrogéologique maillé permettrait d'évaluer l'impact local de tous les prélèvements en donnant accès à des informations spatialisées. Cependant, en l'état actuel des connaissances, les mécanismes régissant le fonctionnement et les connexions entre les niveaux aquifères et les rivières restent insuffisamment contraints pour permettre l'élaboration d'un tel modèle.

A partir des connaissances actuelles, de nouvelles propositions concernant la gestion volumique de la ressource en eau sont proposées pour le territoire des 4 Vallées. L'objectif de ce travail est de tendre vers une gestion quantitative des ressources en eau en évitant d'avoir recours de manière « chronique » au déclenchement des arrêtés sécheresse comme c'est le cas actuellement sur le bassin. Compte tenu des résultats obtenus dans le cadre de cette étude (aucun déficit chronique significatif n'est observé sur les eaux souterraines, ni actuellement, ni après la simulation de 4 années successives de type « année hydrologique moyenne 2003-2004 »), les prélèvements actuels ne semblent pas engendrer un déficit significatif sur les eaux souterraines. A partir de ce constat, et en l'attente d'acquérir de nouvelles connaissances sur le bilan hydrologique global du système, le volume autorisé au prélèvement pour les eaux souterraines, par principe de précaution, pourrait être égal au volume actuellement prélevé (≈ 12 millions de m^3 sur tout le bassin). Pour compléter cette proposition, des recommandations peuvent être formulées afin d'améliorer le dispositif de suivi actuel de la ressource. Ainsi il est proposé d'adapter le dispositif d'alerte actuel pour les eaux souterraines en intégrant une étape dite « d'évaluation de la situation hydro-climatologiques ». A partir de deux critères simples : le cumul de la pluie efficace depuis le 1^{er} septembre et le niveau piézométrique mesuré pour l'année en cours sur des points de référence, le risque de sécheresse peut être évalué avant les mois d'avril-mai (fin de période des pluies efficaces d'hiver) afin d'engager, dans les meilleurs délais, les mesures nécessaires pour empêcher une dégradation de la quantité des ressources en eau.

Afin de pouvoir établir précisément le volume maximum prélevable sur les eaux souterraines sur le bassin versant des 4 Vallées, plusieurs étapes d'acquisition de connaissances sont encore nécessaires. La priorité doit être mise sur la quantification du flux des relations nappe/rivière, flux exerçant un important contrôle sur le fonctionnement de l'hydrosystème sur le bassin. En effet le volume maximum prélevable sur les eaux souterraines doit non seulement être établi de manière à garantir la non dégradation des aquifères d'un point de vue quantitatif mais également garantir le maintien d'un certain débit dans les rivières. L'objectif est d'être en mesure d'évaluer la relation entre le volume prélevé sur les eaux souterraines et celui de la

perte/gain d'habitats sur les écosystèmes des rivières pour tous les tronçons ayant fait l'objet d'une détermination de débit biologique (on se référera à l'étude SOGREAH/ASCONIT). La deuxième étape est de disposer de davantage de point de suivi des ressources (débits des rivières et niveaux piézométriques des aquifères) afin de pouvoir caler un modèle hydrologique maillé. L'acquisition d'autres données sera probablement nécessaire (tel que des données géologiques limitant spatialement l'extension des aquifères) avant de disposer d'un modèle hydrologique maillé permettant de représenter de manière pertinente le fonctionnement de l'hydrosystème.

Dans l'attente de ces éléments, une position provisoire peut être adoptée, celle de fixer dans un premier temps le volume maximum prélevable sur les eaux souterraines à $\approx 12 \text{ Mm}^3$ sur tout le bassin, en reprenant une répartition spatiale et une répartition par usages conforme à la situation observée pour l'année hydrologique moyenne 2003-2004. En effet pour de tels prélèvements réalisés par le passé sur les eaux souterraines, aucun conflit d'usage et aucune baisse systématique des niveaux piézométriques n'ont été observés. Par ailleurs ces prélèvements correspondent à moins de 20% des flux d'eaux souterraines alimentant les rivières en aval du bassin versant, évalués en période d'étiage.

8. Bibliographie

Service du Génie Rural des Eaux et des Forêts (1972). Etude hydrogéologique des Vallées de Vienne. 62 p.

SOGREAH (1994). Etude hydrologique des conditions d'étiage des 4 vallées. 31p.

SOGREAH/ASCONIT (2011a). Etude complémentaire de détermination des volumes maximums prélevables. Rapport de phase 1 : caractérisation des sous bassins versants et recueil de données complémentaires. N°1741935. 96 p.

SOGREAH/ASCONIT (2011b). Etude complémentaire de détermination des volumes maximums prélevables. Rapport de phase 2 : caractérisation du fonctionnement hydrologique des cours d'eau. N°1741935. 103 p.

Thiéry D. (2003). Logiciel GARDENIA, version 6.0. Guide d'utilisation. BRGM/RP-52832-FR, 102 p., 42 fig., 3 ann.

Thiéry D. (2004). Plaquette de présentation du code de calcul GARDÉNIA du BRGM :

www.brgm.fr/pdf/logiciels/Gardenia_fr.pdf

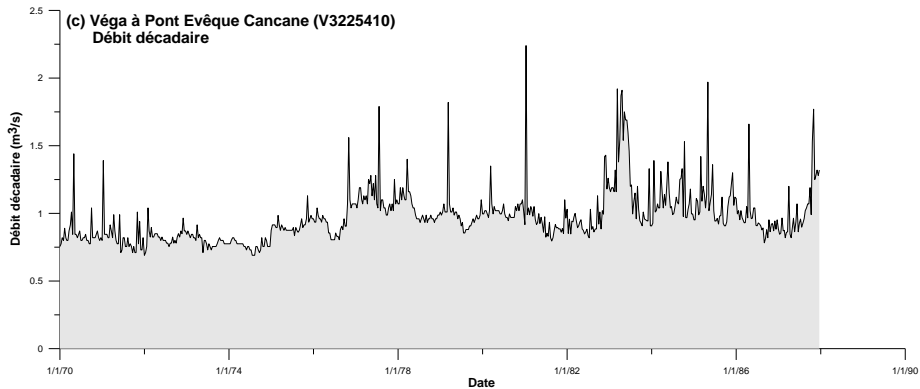
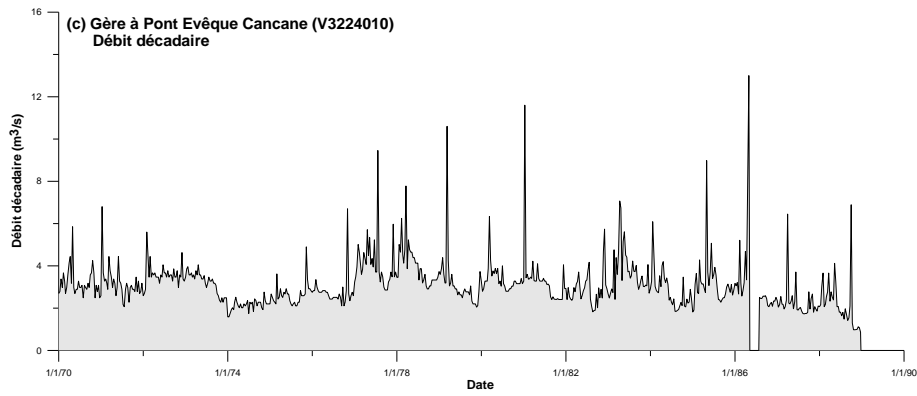
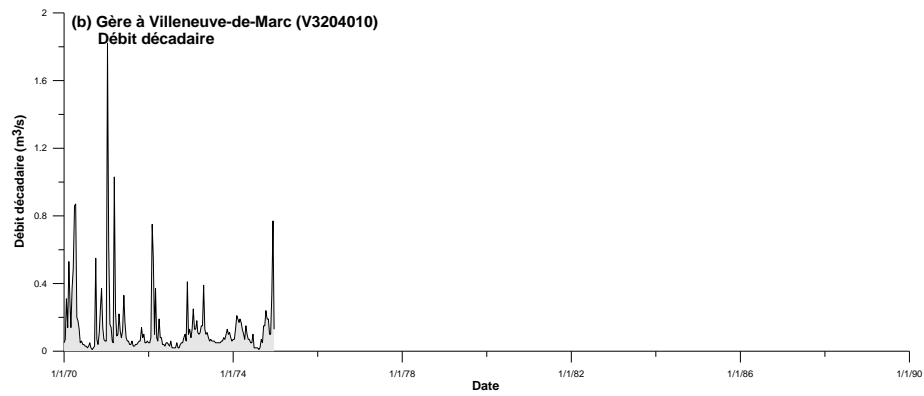
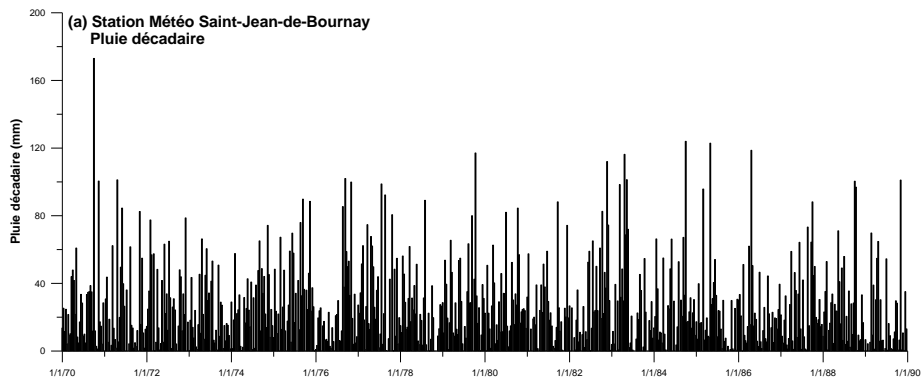
Annexe 1

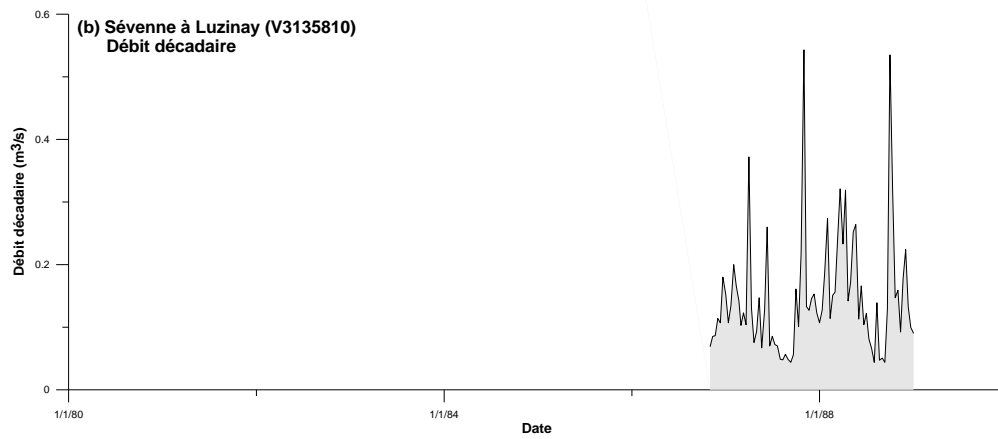
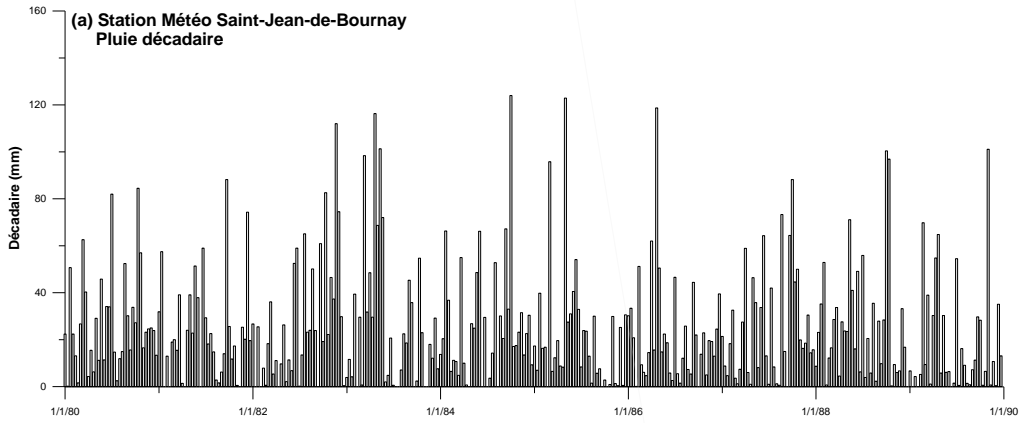
Chroniques piézométriques « longues » disponibles, et pas de temps respectifs

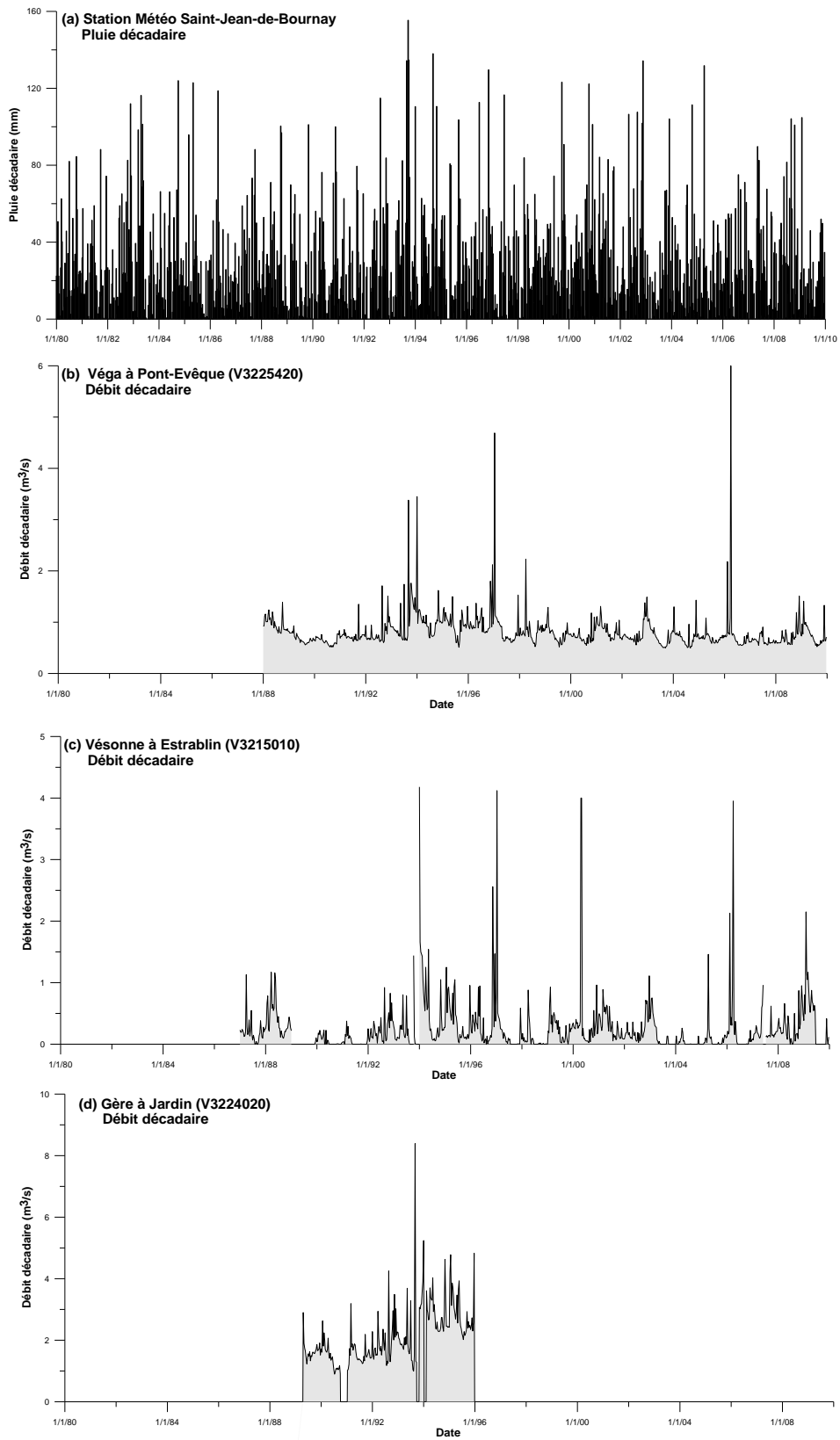
Sous-secteur	Nom	Période	Pas de temps
Véga amont	Lafayette	1988-2010	Décadaire à hebdomadaire
	Septème	2005-2010	Journalier
	Piezo A	2000-2010	Décadaire à hebdomadaire
	Piezo B	2000-2010	Décadaire à hebdomadaire
	Piezo C	2000-2010	Décadaire à hebdomadaire
	Piezo D	2000-2010	Décadaire à hebdomadaire
	Piezo E	2000-2010	Décadaire à hebdomadaire
	Piezo F	2000-2010	Décadaire à hebdomadaire
	Piezo G	2000-2010	Décadaire à hebdomadaire
Véga aval	Piezo H	2000-2010	Décadaire à hebdomadaire
	Piezo I	2000-2010	Décadaire à hebdomadaire
Vésonne amont	Carloz	1988-2010	Mensuel à hebdomadaire
	Siran	1981-2003 ; 2009-10	Mensuel
	Cul de Bœuf	1990-2010	Décadaire à hebdomadaire
Vésonne aval	Detourbe	1965-2003	Mensuel
	Moidieu-Detourbe	1987-2010	Décadaire à journalier
Gère	Gemens	1991-2010	Décadaire à hebdomadaire

Annexe 2

Comparaison des chroniques de pluies et de débits de la Véga pour le même pas de temps décadaire.







Annexe 3

Chroniques annuelles de prélèvement pris en compte pour les modélisation GARDENIA

Modélisation Pluie-Niveau

Année	Point de suivi La Fayette			Point de suivi Piezo H			Point de suivi Carloz			Point de suivi Moidieu-Detourbe			Point de suivi Gemens		
	AEP	Prélèvements Industriels	Prélèvements Agricoles	AEP	Prélèvements Industriels	Prélèvements Agricoles	AEP	Prélèvements Industriels	Prélèvements Agricoles	AEP	Prélèvements Industriels	Prélèvements Agricoles	AEP	Prélèvements Industriels	Prélèvements Agricoles
2003	181 400	0	0	1 677 500	241 300	842 728	320 300	0	0	1 863 200	51 000	133 790	7 733 400	51 000	435 141
2004	174 100	0	75 000	1 546 000	288 600	836 915	297 400	0	0	1 799 060	24 100	282 803	7 535 460	24 100	517 361
2005	167 000	0	2 000	1 461 200	239 000	654 810	296 700	0	0	1 650 000	21 200	250 500	7 476 700	21 200	417 954
2006	174 300	0	4 500	1 408 200	135 000	633 562	347 500	0	0	1 656 800	22 600	247 850	7 985 400	22 600	478 610
2007	187 300	0	7 000	1 385 600	238 300	151 485	349 700	0	0	1 649 920	27 800	72 950	8 511 320	27 800	184 328
2008	188 500	0	1 500	1 515 800	163 400	168 447	297 900	0	0	1 622 660	58 300	29 440	7 857 060	58 300	110 627

Annexe 4

Compte-rendu des calages des modélisations pluie-niveau-debit et pluie-niveau sous GARDENIA

Calage PLUIE-NIVEAU-DEBIT : Véga à Pont-Evêque

Logiciel : Gardénia Version : 8.1

Fichier projet utilisé : Run1_Lafayette_OK_9.rga

Run1_Lafayette : Décades OK ; Avec pompage => Niv et Débit

<< Pompages en m3/s et Fact_pompages_sur débit = 1 >>

Run1_Lafayette ; Linéaire 1.7 m3/s maxi ; Avec pompage => Niv et Débit

Run1_Lafayette_9.gar = Fichier des Paramètres

PluieLuzinayReconsti.prn = Fichier des Pluies

ETPBronD.prn = Fichier des ETP

Debit_PontEvequeD_DTH_1970_2008.prn = Fichier des Débits

Piezo_LafayetteD.prn = Fichier des Niveaux Nappe

Pompage_BV_Vega_m3s.prn = Fichier des Pompages/Injections

<< Pompages en m3/s et Fact_pompages_sur débit = 1 >>

<< Avec pompage_Scénario_1 : Param de fin 'OK_9.gar' SANS calage >>

*** Pré-Options Générales ***

=Utilisation avancée : 0=simple ; 1=avancée (Neige, Pompage, Prévi etc.)

D=Mode d'exécution (C = Contrôle sur écran ; Déf=Rapide ; D=Direct ; M=Muet)

*** Options Générales ***

1=Nombre de Sites (Bassins) à modéliser successivement

0=Type de donnée pour Préviation / Optimisat pompage (0=Débits , 1=Niveaux)

1=Observations de Débits Rivière : Importance (entier : 0 à 10 ; 0=Non)

1=Observations de Niveaux de Nappe : Importance (entier : 0 à 10 ; 0=Non)

1=Calcul des Débits Rivière : (0=Non ; 1=Oui)

1=Calcul des Niveaux Nappe : (0=Non ; 1=Oui)

1=Sauvegarde Pluie Efficace ou Recharge (0=Non ; 1=Pluies Efficaces 2=Recharge)

1=Sauvegarde des Débit/Niveaux simulés : (0=Non ; 1=Oui)

0=Sauvegarde des termes du Bilan : (0=Non 1=Annuel 2=Mensuel 3=Tous les pas)

0=Allègement du Listing (0=Complet ; 1=Allégé ; 2=Supprimé)

0=Schéma de calcul (0=Gardénia ; 1=GR4 ; 3=Transfert GR4 ; 11=GR4j)

1=Dessin de la série simulée (0=non ; 1=Oui ; 2=Oui avec décomposition)

0=Pondération des écarts pour le calage (0=Non ; 2= ++Étiages ; 99= Racin_Débit)

0=Minimisation du biais sur les Débits Rivière (0 = Non ; 100 = 100 %)

1=Pompage influençant Débits Rivière (0=Non ; 1=Oui ; 2=Oui en rivière)

1=Pompage influençant Niveau Nappe (0=Non ; 1=Oui)

0=Prévision (0=Non ; 1=Préparation ; 2=Émission de Prévision)

0=Méthode de Prévision (0=Méthode précise [réadaption] ; 1=Méthode simplifiée)

0=Schéma d'échanges souterr. ext. (0=% Débit Souter. (++) ; 1=Fact Niv_Souter.)

0=Bilan journalier même si pluie Décadaire ou Mensuelle (0=Non ; 1=Oui)

0=Prise en compte de Neige (0=Non ; 1=Oui)

0=Précipitations neigeuses dans un fichier propre (0 = avec pluies ; 1 = séparé)

0=Données par années hydrologiques [début 1 août] (0=ann Civiles ; 1=ann Hydrol)

0=Débit Souterrain le plus Lent (0=Normal ; 1=Perte ; -1=Uniquement)

0=Analyse de Sensibilité (0=Non ; 1=Oui uniquement analyse de Sensib)

*** Pas de temps ***

*** Pas de temps du Fichier Pluie, Neige, Pompage ***

2= Pas de temps : 0=Journalier 1=Pentadaire 2=Décadaire 3=Mensuel 4=Autre

3= Format : 0=Gardénia_Sequentiel 1=Gardénia_Annuaire 2=Libre 3=Excel

*** Pas de temps du Fichier Température ***

0= Pas de temps : 0=Journalier 1=Pentadaire 2=Décadaire 3=Mensuel 4=Autre

1= Format : 0=Gardénia_Sequentiel 1=Gardénia_Annuaire 2=Libre 3=Excel

*** Pas de temps du Fichier ETP ***

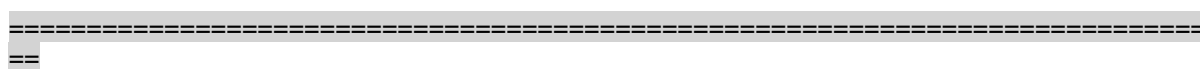
2= Pas de temps : 0=Journalier 1=Pentadaire 2=Décadaire 3=Mensuel 4=Autre

3= Format : 0=Gardénia_Sequentiel 1=Gardénia_Annuaire 2=Libre 3=Excel

*** Pas de temps du Fichier Débits, Niveaux Observés ***

2= Pas de temps : 0=Journalier 1=Pentadaire 2=Décadaire 3=Mensuel 4=Autre

3= Format : 0=Gardénia_Sequentiel 1=Gardénia_Annuaire 2=Libre 3=Excel



Run1_Lafayette

Valeurs des Paramètres fournis en entrée

1.70000 = Valeur Maximale des Débits Rivière Observés pris en compte (0 = toutes)

0.00000 = Valeur Minimale des Débits Rivière Observés pris en compte (0 = toutes)

0.00000 = Valeur Maximale des Niveaux Nappe Observés pris en compte (0 = toutes)

0.00000 = Valeur Minimale des Niveaux Nappe Observés pris en compte (0 = toutes)

0 = Nombre d'Années des séries de données (Pluie, ETP, Observ.) [0 => Toutes]

20 = Nombre d'Années démarrage (-n pour générer n année moy fictives de démarrage)

0 = Nombre de cycles de démarrage (déf. = 1)

1970 = Date de la Première Année des données (par ex. 2015)

0 = Décalage dans la série des Pluies [+5 => Retarde de 5 pas ; -4 Avance de 4 pas]

0 = Décalage de la série des Débits/Niveaux observés [ex: -2 => Avance 2 pas]

0 = État initial : 0=Pluie Effic. moyenne ; -1=Réserves vides ; -2=RuMax vide aussi

450 = Nombre maxi. d'itérations pour le calage (-1 = aucune itération; pas de calage)

0 = Durée des pluies en moyenne par pas (%) (utilisations avancées)[défaut = 100 %]

1 = Nombre de Réservoirs Souterrains (1 ou 2 ou 3=Double + seuil) [def = 1]

0 = Utilisation de la même ETP (moyenne pour toutes les années [0=non ; 1=Oui])

0 = Numéro du Jour initial [Def=1] (si durée non standard) ; ex. 31 pour 31 Déc.

0 = Numéro du Mois initial [Def=1] (si durée non standard) ; ex. 12 pour 31 Déc.

0 = Heure initiale [Def=0] (si durée non standard) ; par ex. 15 pour 15h30

0 = Minute initiale [Def=0] (si durée non standard) ; Par ex. 30 pour 15h30

Inf= -10.00000 Sup = 10.00000 : Correction globale des Pluies (%)
 Inf= -20.00000 Sup = 20.00000 : Correction globale de l'ETP (%)
 Inf= 0.00000 Sup = 500.00000 : Capacité de la réserve superficielle (RuMax) (mm)
 Inf= 0.00000 Sup = 650.00000 : Capacité de la réserve superficielle Progressive (mm)
 Inf= 1.00000 Sup =9999.00000 : Hauteur de répartition Ruissellement-Percolation (mm)
 Inf= 0.05000 Sup = 10.00000 : Temps de 1/2 montée (temps de 1/2 Percolation) (mois)
 Inf= 0.50000 Sup = 50.00000 : Temps de 1/2 tarissement Souterrain 1 (mois)
 Inf= 0.05000 Sup = 50.00000 : Temps de 1/2 transfert Souterr. 1--> Souterr. 2 (mois)
 Inf= 0.05000 Sup = 50.00000 : Temps de 1/2 tarissement Souterrain 2 (mois)
 Inf= 0.00000 Sup = 10.00000 : Retard (propagation) Débits (en pas de temps)
 Inf= -50.00000 Sup = 50.00000 : Facteur d'échange externe (%)
 Inf= 0.00000 Sup = 999.00000 : Déficit initial de la réserve super. (RuMax) (mm)
 Inf= 0.00000 Sup = 999.00000 : Déficit initial de la réserve superf. Progressive (mm)

39 années ont été détectées automatiquement dans le fichier des pluies

Pluie efficace Démarrage : Équilibre

Valeur initiale des Paramètres physiques :

Débit extérieur	0.18 m3/s	Opti=0
Superficie du bassin versant	87.50 km2	Opti=0
Niveau de Base	267.59 m NGF	Opti=0
Coefficient d'Emmagasinement	1.042E-01	Opti=0
Correction globale des Pluies	0.00 %	Opti=0
Correction globale d'ETP	-20.00 %	Opti=1
Capacité de la Réserve superf.	0.00 mm	Opti=0
Capacité de la Réserve Sup Progress.	11.30 mm	Opti=1
Hauteur Ruissell. = Percolation	1037.84 mm	Opti=1
Temps demi-montée Débit souterr	0.74 mois	Opti=1

Temps demi-Tarissement Rapide	11.87 mois	Opti=1
Retard (propagation)	0.00 pas temps	Opti=0
Facteur d'échange externe	-46.48 %	Opti=1

Valeur initiale des Paramètres de pompage influenc. Débits Rivière :

Coefficient d'influence du pompage	1.000E+00 [-]	Opti=0
Temps de 1/2 montée du pompage	0.178 mois	Opti=1
Temps de 1/2 stabilisation du pompage	1.624 mois	Opti=1

Bornes des Paramètres de pompage influenc. les Débits de Rivière :

Inf= 0.02000 Sup = 10.00000 : Temps de 1/2 montée du pompage

Inf= 0.05000 Sup = 15.00000 : Temps de 1/2 stabilisation du pompage

Valeur initiale des Paramètres de pompage influenc. Niveaux Nappe :

Coefficient d'influence du pompage	2.082E+02 [-]	Opti=0
Temps de 1/2 montée du pompage	14.993 mois	Opti=1
Temps de 1/2 stabilisation du pompage	29.992 mois	Opti=1

Bornes des Paramètres de pompage influenc. les Niveaux de Nappe :

Inf= 0.02000 Sup = 15.00000 : Temps de 1/2 montée du pompage

Inf= 0.05000 Sup = 30.00000 : Temps de 1/2 stabilisation du pompage

10 Paramètre(s) à Optimiser

Optimisation des Paramètres : 2 4 5 6 7 11 102 103 105 106

Après optimisation avec 450 itération(s)

Correction globale des Pluies = 0.00 %
Correction globale d'ETP = -20.00 %
Capacité de la réserve superfic. = 0.00 mm
Capacité de la réserve sup progr.= 10.47 mm
Hauteur Ruissell. = Percolation = 1063.5527 mm
Temps demi-montée Débit Souterr. = 0.7522 mois
Temps demi-Tarissement Rapide = 11.7950 mois
Retard (propagation) = 0.00 pas de temps
Facteur d'échange externe = -46.76 %

Débit extérieur = 0.18 m³/s
Superficie du Bassin Versant = 87.500 km²

Niveau de Base = 267.59 m
Coefficient d'Emmagasinement = 1.042E-01

Influence des pompages sur les Débits Rivière :

Coefficient d'influence du pompage = 1.000E+00 [-]
Temps de 1/2 montée du pompage = 0.167 mois
Temps de 1/2 stabilisation du pompage = 1.635 mois

Réponse du Débit Rivière à un échelon unitaire de pompage = 1.000E+00 m³/s

Influence des pompages sur les Niveaux Nappe :

Coefficient d'influence du pompage = 2.082E+02 [-]
Temps de 1/2 montée du pompage = 14.990 mois
Temps de 1/2 stabilisation du pompage = 30.000 mois

En valeurs naturelles :

Série des débits Rivières

=====

Asymétrie des observations = 1.38
 Nombre de valeurs retenues = 667
 Nash (carré coeff. ajustement) = 0.6873
 Coeff d'ajustement (corrélation) = 0.8290 <==
 Gain d'ajustement = -1.80E-05
 Écart quadratique moyen = 0.112 m³/s

Série des niveaux de nappe

=====

Asymétrie des observations = 1.56
 Nombre de valeurs retenues = 679
 Nash (carré coeff. ajustement) = 0.8485
 Coeff d'ajustement (corrélation) = 0.9211 <==
 Gain d'ajustement = 1.28E-04
 Écart quadratique moyen = 0.405 m

Globalement sur les 2 séries :

=====

Nombre de valeurs retenues = 1346
 Critère d'ajustement global = 0.8751
 Gain global d'ajustement = 5.48E-05

En moyenne :

Pluie efficace calculée = 459.4 mm/an

=====

C'est la valeur à reprendre pour une simulation avec la même initialisation

=====

=

Calage PLUIE-NIVEAU : Puits Moidieu-Detourbe

Logiciel : Gardénia Version : 8.1

Fichier projet utilisé : Moidieu_Niv_2.rga

Moidieu_Niv only

Moidieu Niv only

Moidieu_Niv_2.gar = Fichier des Paramètres

PluieLuzinayReconsti.prn = Fichier des Pluies

ETPBronD.prn = Fichier des ETP

Piezo_MoidieuDetourbeD.prn = Fichier des Niveaux Nappe

Pompage_BV_Vesonne.prn = Fichier des Pompages/Injections

*** Pré-Options Générales ***

=Utilisation avancée : 0=simple ; 1=avancée (Neige, Pompage, Prévi etc.)

D=Mode d'exécution (C = Contrôle sur écran ; Déf=Rapide ; D=Direct ; M=Muet)

*** Options Générales ***

1=Nombre de Sites (Bassins) à modéliser successivement

0=Type de donnée pour Prévision / Optimisat pompage (0=Débits , 1=Niveaux)

0=Observations de Débits Rivière : Importance (entier : 0 à 10 ; 0=Non)

1=Observations de Niveaux de Nappe : Importance (entier : 0 à 10 ; 0=Non)

0=Calcul des Débits Rivière : (0=Non ; 1=Oui)

1=Calcul des Niveaux Nappe : (0=Non ; 1=Oui)

1=Sauvegarde Pluie Efficace ou Recharge (0=Non ; 1=Pluies Efficaces 2=Recharge)

1=Sauvegarde des Débit/Niveaux simulés : (0=Non ; 1=Oui)

2=Sauvegarde des termes du Bilan : (0=Non 1=Annuel 2=Mensuel 3=Tous les pas)

0=Allègement du Listing (0=Complet ; 1=Allégé ; 2=Supprimé)

0=Schéma de calcul (0=Gardénia ; 1=GR4 ; 3=Transfert GR4 ; 11=GR4i)

1=Dessin de la série simulée (0=non ; 1=Oui ; 2=Oui avec décomposition)

0=Pondération des écarts pour le calage (0=Non ; 2= ++Étiages ; 99= Racin_Débit)

0=Minimisation du biais sur les Débits Rivière (0 = Non ; 100 = 100 %)

0=Pompage influençant Débits Rivière (0=Non ; 1=Oui ; 2=Oui en rivière)

1=Pompage influençant Niveau Nappe (0=Non ; 1=Oui)

0=Prévision (0=Non ; 1=Préparation ; 2=Émission de Prévision)

0=Méthode de Prévision (0=Méthode précise [réadaptation] ; 1=Méthode simplifiée)

0=Schéma d'échanges souterr. ext. (0=% Débit Souter. (++) ; 1=Fact Niv_Souter.)

0=Bilan journalier même si pluie Décadaire ou Mensuelle (0=Non ; 1=Oui)

0=Prise en compte de Neige (0=Non ; 1=Oui)

0=Précipitations neigeuses dans un fichier propre (0 = avec pluies ; 1 = séparé)

0=Données par années hydrologiques [début 1 août] (0=ann Civiles ; 1=ann Hydrol)

0=Débit Souterrain le plus Lent (0=Normal ; 1=Perte ; -1=Uniquement)

0=Analyse de Sensibilité (0=Non ; 1=Oui uniquement analyse de Sensib)

*** Pas de temps ***

*** Pas de temps du Fichier Pluie, Neige, Pompage ***

2= Pas de temps : 0=Journalier 1=Septennaire 2=Décadaire 3=Mensuel 4=Autre

3= Format : 0=Gardénia_Sequentiel 1=Gardénia_Annuaire 2=Libre 3=Excel

*** Pas de temps du Fichier Température ***

0= Pas de temps : 0=Journalier 1=Pentadaire 2=Décadaire 3=Mensuel 4=Autre

1= Format : 0=Gardénia_Sequentiel 1=Gardénia_Annuaire 2=Libre 3=Excel

*** Pas de temps du Fichier ETP ***

2= Pas de temps : 0=Journalier 1=Pentadaire 2=Décadaire 3=Mensuel 4=Autre

3= Format : 0=Gardénia_Sequentiel 1=Gardénia_Annuaire 2=Libre 3=Excel

*** Pas de temps du Fichier Débits, Niveaux Observés ***

2= Pas de temps : 0=Journalier 1=Pentadaire 2=Décadaire 3=Mensuel 4=Autre

3= Format : 0=Gardénia_Sequentiel 1=Gardénia_Annuaire 2=Libre 3=Excel

=====

Moidieu Niv only

Valeurs des Paramètres fournis en entrée

0.00000 = Valeur Maximale des Débits Rivière Observés pris en compte (0 = toutes)

0.00000 = Valeur Minimale des Débits Rivière Observés pris en compte (0 = toutes)

0.00000 = Valeur Maximale des Niveaux Nappe Observés pris en compte (0 = toutes)

0.00000 = Valeur Minimale des Niveaux Nappe Observés pris en compte (0 = toutes)

0 = Nombre d'Années des séries de données (Pluie, ETP, Observ.) [0 => Toutes]

20 = Nombre d'Années démarrage (-n pour générer n année moy fictives de démarrage)

0 = Nombre de cycles de démarrage (déf. = 1)

1970 = Date de la Première Année des données (par ex. 2015)

0 = Décalage dans la série des Pluies [+5 => Retarde de 5 pas ; -4 Avance de 4 pas]

0 = Décalage de la série des Débits/Niveaux observés [ex: -2 => Avance 2 pas]

0 = État initial : 0=Pluie Effic. moyenne ; -1=Réserves vides ; -2=RuMax vide aussi

450 = Nombre maxi. d'itérations pour le calage (-1 = aucune itération; pas de calage)
 0 = Durée des pluies en moyenne par pas (%) (utilisations avancées)[défaut = 100 %]
 1 = Nombre de Réservoirs Souterrains (1 ou 2 ou 3=Double + seuil) [def = 1]
 0 = Utilisation de la même ETP (moyenne pour toutes les années [0=non ; 1=Oui])
 0 = Numéro du Jour initial [Def=1] (si durée non standard) ; ex. 31 pour 31 Déc.
 0 = Numéro du Mois initial [Def=1] (si durée non standard) ; ex. 12 pour 31 Déc.
 0 = Heure initiale [Def=0] (si durée non standard) ; par ex. 15 pour 15h30
 0 = Minute initiale [Def=0] (si durée non standard) ; Par ex. 30 pour 15h30

Inf= -10.00000 Sup = 10.00000 : Correction globale des Pluies (%)
 Inf= -15.00000 Sup = 15.00000 : Correction globale de l'ETP (%)
 Inf= 0.00000 Sup = 500.00000 : Capacité de la réserve superficielle (RuMax) (mm)
 Inf= 0.00000 Sup = 650.00000 : Capacité de la réserve superficielle Progressive (mm)
 Inf= 1.00000 Sup = 9999.00000 : Hauteur de répartition Ruissellement-Percolation (mm)
 Inf= 0.05000 Sup = 10.00000 : Temps de 1/2 montée (temps de 1/2 Percolation) (mois)
 Inf= 0.50000 Sup = 15.00000 : Temps de 1/2 tarissement Souterrain 1 (mois)
 Inf= 0.05000 Sup = 50.00000 : Temps de 1/2 transfert Souterr. 1--> Souterr. 2 (mois)
 Inf= 0.05000 Sup = 50.00000 : Temps de 1/2 tarissement Souterrain 2 (mois)
 Inf= 0.00000 Sup = 10.00000 : Retard (propagation) Débits (en pas de temps)
 Inf= -30.00000 Sup = 30.00000 : Facteur d'échange externe (%)
 Inf= 0.00000 Sup = 999.00000 : Déficit initial de la réserve super. (RuMax) (mm)
 Inf= 0.00000 Sup = 999.00000 : Déficit initial de la réserve superf. Progressive (mm)

39 années ont été détectées automatiquement dans le fichier des pluies

Pluie efficace Démarrage : Équilibre

Valeur initiale des Paramètres physiques :

Niveau de Base	190.64 m NGF	Opti=1
Coefficient d'Emmagasinement	2.294E-01	Opti=1
Correction globale des Pluies	0.00 %	Opti=0
Correction globale d'ETP	-7.04 %	Opti=1
Capacité de la Réserve superf.	70.00 mm	Opti=0
Capacité de la Réserve Sup Progress.	155.15 mm	Opti=1
Hauteur Ruissell. = Percolation	124.07 mm	Opti=1
Temps demi-montée Débit souterr	0.16 mois	Opti=1
Temps demi-Tarissement Rapide	8.56 mois	Opti=1
Retard (propagation)	0.00 pas temps	Opti=0
Facteur d'échange externe	0.00 %	Opti=1

Valeur initiale des Paramètres de pompage influenc. Niveaux Nappe :

Coefficient d'influence du pompage	-7.453E-06 [-]	Opti=1
Temps de 1/2 montée du pompage	0.050 mois	Opti=1
Temps de 1/2 stabilisation du pompage	3.841 mois	Opti=1

Bornes des Paramètres de pompage influenc. les Niveaux de Nappe :

Inf= 0.05000 Sup = 10.00000 : Temps de 1/2 montée du pompage

Inf= 0.05000 Sup = 15.00000 : Temps de 1/2 stabilisation du pompage

8 Paramètre(s) à Optimiser

Optimisation des Paramètres : 2 4 5 6 7 11 105 106

Après optimisation avec 450 itération(s)

Correction globale des Pluies = 0.00 %

Correction globale d'ETP = -15.00 %

Capacité de la réserve superfic. = 70.00 mm

Capacité de la réserve sup progr.= 210.88 mm

Hauteur Ruissell. = Percolation = 9890.1270 mm

Temps demi-montée Débit Souterr. = 0.5904 mois

Temps demi-Tarissement Rapide = 4.3454 mois

Retard (propagation) = 0.00 pas de temps

Facteur d'échange externe = 0.00 %

Niveau de Base = 254.65 m

Coefficient d'Emmagasinement = 4.673E-02

Influence des pompages sur les Niveaux Nappe :

Coefficient d'influence du pompage = -1.565E-05 [-]

Temps de 1/2 montée du pompage = 2.068 mois

Temps de 1/2 stabilisation du pompage = 0.050 mois

Réponse du Niveau Nappe à un échelon unitaire de pompage = -1.565E-05 m

En valeurs naturelles :

Série des niveaux de nappe

=====

Asymétrie des observations = 1.50
Nombre de valeurs retenues = 660
Nash (carré coeff. ajustement) = 0.9341
Coeff d'ajustement (corrélation) = 0.9665 <==
Gain d'ajustement = 4.32E-02
Écart quadratique moyen = 0.369 m

En moyenne :

Pluie efficace calculée = 218.9 mm/an

=====

C'est la valeur à reprendre pour une simulation avec la même initialisation

=====

Annexe 5

Niveaux piézométriques correspondant aux 2 approches proposées pour calculer des courbes de NPA

Approche 1 = piézométrie mesurée pour l'année 2007-2008

Lafayette		Piezo H		Carloz		Moidieu-Detourbe		P21	
Jour de l'année hydrologique	Niveau piézométrique (m NGF)	Jour de l'année hydrologique	Niveau piézométrique (m NGF)	Jour de l'année hydrologique	Niveau piézométrique (m NGF)	Jour de l'année hydrologique	Niveau piézométrique (m NGF)	Jour de l'année hydrologique	Niveau piézométrique (m NGF)
3	253,99	34	202,194	3	389,52	1	256,66	6	191,22
10	253,99	73	202,104	10	389,5	2	256,66	12	191,18
17	253,98	117	202,154	17	388,35	3	256,65	19	191,21
24	253,98	129	202,154	24	389,28	4	256,65	26	191,18
31	253,97	143	202,104	31	389,05	7	256,63	32	191,22
38	253,98	157	202,154	38	388,98	15	256,58	40	191,18
45	253,98	170	202,154	45	388,65	19	256,55	48	191,17
52	253,96	186	202,184	52	389,42	24	256,52	55	191,17
66	253,95	200	202,144	59	389,38	29	256,49	63	191,17
73	253,7	214	202,134	66	389,35	31	256,52	68	191,15
80	253,93	227	202,104	73	389,3	35	256,47	77	191,15
87	253,66	248	202,094	80	389,25	38	256,45	82	191,14
94	253,92	262	202,239	87	389,2	41	256,44	89	191,18
101	253,92	276	202,244	94	389,08	44	256,42	96	191,13
108	253,93	291	202,284	101	389,05	47	256,41	103	191,17
115	253,95	305	202,194	108	389,05	49	256,39	110	191,2
122	253,94	325	202,264	115	388,98	53	256,38	117	191,13
129	253,92	361	202,124	122	388,95	56	256,36	125	191,14
136	253,87			129	388,98	60	256,34	133	191,13
143	253,88			136	389,05	63	256,33	137	191,18
150	253,84			143	389,1	67	256,31	145	191,15
156	253,83			150	389,08	69	256,30	153	191,15
163	253,83			156	389,1	71	256,29	160	191,14
170	253,8			163	389,15	73	256,28	165	191,14
177	253,8			170	389,2	76	256,28	173	191,13
186	253,76			177	389	77	256,26	178	191,13
193	253,75			186	389,03	78	256,26	187	191,11
200	253,72			193	389	79	256,26	194	191,15
207	253,72			200	388,95	80	256,26	202	191,13
214	253,72			207	389	84	256,25	209	191,15
220	253,68			214	389,05	85	256,24	216	191,13
227	253,66			220	389,15	86	256,24	222	191,14
234	253,67			227	389,2	87	256,24	229	191,28
241	253,67			234	388,68	88	256,24	237	191,26
248	253,68			241	389,6	89	256,24	245	191,31
255	253,69			248	390,2	92	256,23	250	191,31
262	253,68			255	389,52	94	256,23	257	191,31
269	253,65			262	389,5	97	256,22	265	191,31
276	253,65			269	389,4	98	256,22	271	191,34
283	253,67			276	389,42	99	256,22	279	191,36
290	253,72			283	389,45	101	256,21	285	191,37
297	253,78			290	389,4	102	256,21	291	191,39
304	253,76			297	389,29	108	256,19	297	191,26
311	253,74			304	389,28	110	256,19	306	191,37
318	253,78			311	389,3	114	256,17	313	191,42
325	253,79			318	389,4	115	256,17	320	191,41
332	253,74			325	389,4	116	256,17	327	191,42
339	253,71			332	389,15	120	256,15	334	191,42
346	253,71			339	389,1	122	256,15	341	191,4
353	253,77			346	389,05	123	256,15	349	191,4
360	253,81			353	389,05	125	256,14	356	191,41
				360	389,15	127	256,14	362	191,42

Approche 1 = piézométrie mesurée pour l'année 2007-2008

Moidieu-Detourbe	
Jour de l'année hydrologique	Niveau piézométrique (m NGF)
128	256,14
129	256,14
130	256,13
131	256,13
135	256,13
136	256,14
138	256,15
140	256,16
141	256,16
143	256,17
146	256,17
147	256,19
148	256,19
149	256,19
151	256,20
153	256,21
153	256,22
158	256,26
159	256,26
162	256,29
164	256,31
165	256,31
168	256,34
171	256,36
175	256,38
177	256,39
179	256,41
180	256,41
181	256,42
185	256,42
187	256,44
188	256,44
189	256,44
190	256,46
194	256,46
196	256,47
199	256,47
204	256,49
211	256,49
214	256,48
216	256,51
217	256,48
218	256,48
220	256,47
223	256,47
224	256,46
225	256,46
226	256,46
227	256,46
228	256,48
229	256,50
230	256,51
231	256,53
232	256,53
233	256,54
234	256,54
235	256,54
236	256,55
238	256,55
239	256,57
240	256,56
241	256,57
242	256,58
243	256,57
244	256,57
245	256,57
276	256,22
306	256,69
328	256,68
335	256,64
361	256,57
363	256,56
364	256,55
365	256,55

Approche 2 = piézométrie simulée après 2 années sèches

Jour de l'année	Niveau piézométrique (m NGF)				
	Lafayette	Piezo H	Carloz	Moidieu-Detourbe	Pz2
10	253,74425	202,09654	388,18533	256,18616	191,34752
20	253,74335	202,0863	388,10138	256,1745	191,34227
30	253,74246	202,0733	388,01868	256,1633	191,33713
41	253,74156	202,05804	387,93799	256,15259	191,33212
51	253,74068	202,04121	387,85999	256,14233	191,32722
61	253,73982	202,02354	387,7851	256,13251	191,32245
71	253,73895	202,00555	387,71991	256,12314	191,31779
81	253,73813	202,00061	387,69495	256,11411	191,31325
91	253,7373	202,00137	387,67438	256,1055	191,30881
101	253,73651	202,00536	387,65619	256,09726	191,30446
112	253,73573	202,05266	387,71017	256,08939	191,30023
122	253,73497	202,09004	387,75464	256,08188	191,2961
132	253,73419	202,11855	387,78946	256,07465	191,29207
142	253,7334	202,17146	387,87845	256,06775	191,28812
152	253,73262	202,20598	387,94308	256,06116	191,28424
162	253,73189	202,22331	387,97879	256,05481	191,28047
172	253,73119	202,22878	387,9913	256,0488	191,27678
183	253,7305	202,22961	387,99286	256,043	191,27318
193	253,72986	202,22775	387,98691	256,03748	191,26964
203	253,72923	202,2196	387,96677	256,0322	191,26619
213	253,72864	202,20705	387,93573	256,0271	191,26282
223	253,72804	202,20866	387,98804	256,02283	191,25952
233	253,72749	202,25677	388,12115	256,04779	191,2672
243	253,72694	202,31796	388,28711	256,11389	191,3223
253	253,72643	202,34851	388,39743	256,14734	191,31819
264	253,72591	202,35939	388,46283	256,1619	191,3136
274	253,72542	202,35721	388,54318	256,16565	191,30911
284	253,72491	202,34618	388,58316	256,16333	191,30472
294	253,72444	202,32854	388,59418	256,15756	191,30043
304	253,72394	202,3064	388,57922	256,15005	191,29623
314	253,72322	202,27583	388,54413	256,14166	191,29211
324	253,72246	202,2428	388,49374	256,13293	191,28807
335	253,72171	202,20923	388,43204	256,12415	191,2841
345	253,72115	202,17957	388,36234	256,11554	191,28021
355	253,72075	202,1543	388,28729	256,10712	191,2764
365	253,72055	202,13303	388,20905	256,099	191,27267



Géosciences pour une Terre durable

brgm

Centre scientifique et technique

3, avenue Claude-Guillemin
BP 36009

45060 – Orléans Cedex 2 – France
Tél. : 02 38 64 34 34

Service géologique régional Rhône-Alpes

151, boulevard Stalingrad

69626 – Villeurbanne Cedex - France
Tél. : 04 72 82 11 50