

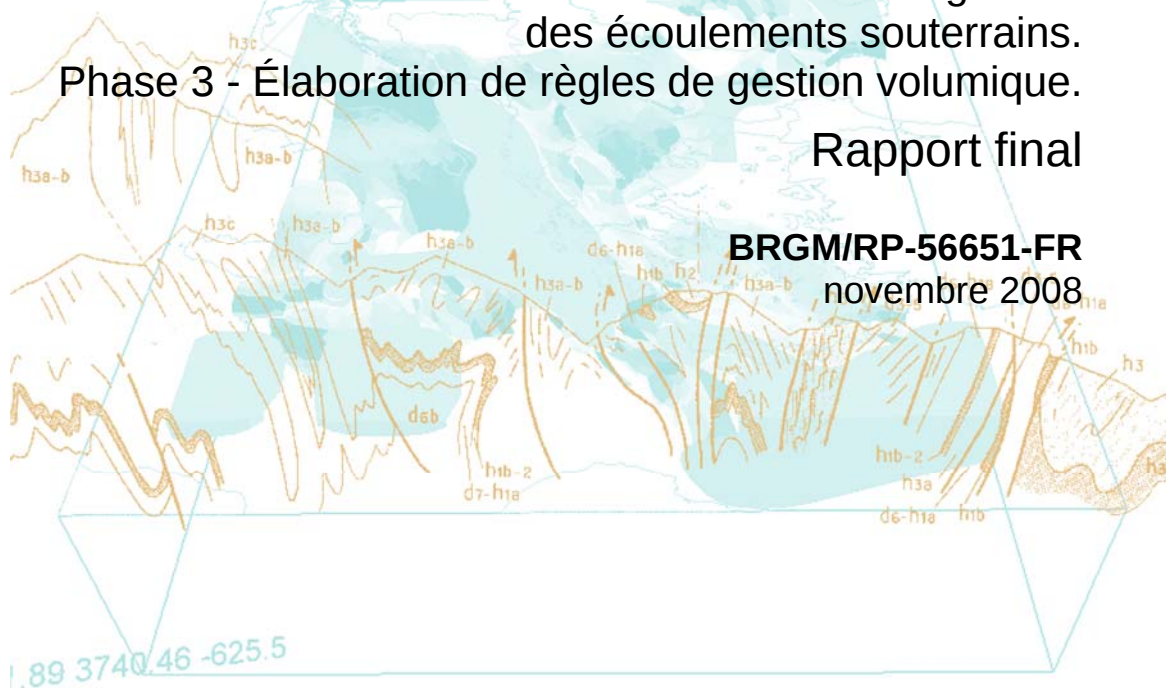
Élaboration de règles de gestion volumique en eau de la nappe de Bièvre-Valloire

Phase 2 - Modélisation globale
des écoulements souterrains.

Phase 3 - Élaboration de règles de gestion volumique.

Rapport final

BRGM/RP-56651-FR
novembre 2008



Élaboration de règles de gestion volumique en eau de la nappe de Bièvre-Valloire

Phase 2 - Modélisation globale
des écoulements souterrains.

Phase 3 - Élaboration de règles de gestion volumique.

Rapport final

BRGM/RP-56651-FR

novembre 2008

Étude réalisée dans le cadre des opérations
de Service public du BRGM 2008-EAU-K66

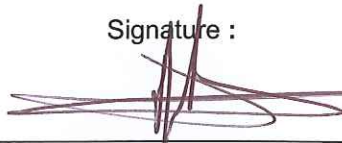
J.-C. Martin, E. Putot, A. Brenot

Vérificateur :

Nom : J. NICOLAS

Date : 18 novembre 2008

Signature :

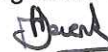


Approbateur :

Nom : F. DEVERLY

Date : 19 novembre 2008

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 9001:2000.

Mots clés : Drôme, Isère, Bassin Bièvre-Valloire, SAGE, Gestion des eaux.

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

Martin J.-C., Putot E., Brenot A. (2008) – Élaboration de règles de gestion volumique en eau de la nappe de Bièvre-Valloire. Phase 2 - Modélisation globale des écoulements souterrains. Phase 3 - Élaboration de règles de gestion volumique. Rapport final. BRGM/RP-56651-FR. 107 p., 61 ill., 11 tabl., 5 ann.

Synthèse

Le développement conséquent des usages, conjugué aux problèmes de ressource en eau souterraine lié à une diminution des pluies efficaces d'hiver, rend nécessaire une gestion durable et plus adaptée de la ressource qui prendrait en compte à la fois les besoins et le stock utilisable, tout en assurant la préservation et protection de cette ressource. La mise en place d'une structure de gestion (SAGE) nécessite en effet, dans la phase dite d'état des lieux, de disposer des éléments d'appréciation utiles sur les eaux souterraines.

La DIREN Rhône-Alpes a donc demandé l'étude de l'impact des prélèvements et la définition de règles de gestion de la ressource en eau souterraine pour la nappe de Bièvre-Valloire située dans les départements de l'Isère (38) et de la Drôme (26). Ce territoire est également celui d'un SAGE dont les objectifs de connaissance de la ressource locale sont également forts et similaires. Les données disponibles et le niveau des connaissances antérieures sont à même de justifier une étude approfondie de cette nappe, dans sa dynamique et sa vulnérabilité aux sollicitations qu'elle subit.

En réponse à cette attente, le BRGM (SGR Rhône-Alpes) a conçu un programme d'étude pour **la nappe de Bièvre-Valloire** en trois étapes. Ce programme comprend tout d'abord l'acquisition, la mise en forme et l'analyse des données disponibles, puis la modélisation hydrodynamique des écoulements dans le bassin étudié (modèle global GARDENIA) et enfin l'élaboration de règles de gestion volumique de la ressource en eau du bassin (avec un dispositif de suivi des consommations).

La phase 1 du projet (acquisition, mise en forme et analyse des données disponibles) a fait l'objet du rapport BRGM/RP-56117-FR en date de janvier 2008. On présente dans ce rapport, correspondant à la réalisation des phases 2 et 3 du projet, une modélisation globale des écoulements dans le bassin de Bièvre-Valloire. Les résultats de ces modélisations améliorent la connaissance des relations entre la pluie efficace et les niveaux des nappes et les débits des cours d'eau.

Il est fait un rappel, avec des compléments, des prélèvements en nappe qui permet une meilleure connaissance du bilan hydraulique moyen du bassin versant.

Après un examen des chroniques des pluies efficaces, des niveaux de la nappe et des débits des rivières, il est proposé des graphiques synthétiques permettant un meilleur suivi de la ressource en eau du bassin de Bièvre-Valloire afin de pouvoir apporter les meilleures réponses aux différentes situations climatiques.

Sommaire

1. Introduction	13
2. Modélisation des niveaux de nappe à l'aide du logiciel global à réservoirs GARDENIA.....	15
2.1. MODÈLE GARDENIA.....	15
2.1.1. Principe et intérêt de la modélisation pluie-niveau et pluie-débit avec le logiciel GARDENIA	15
2.1.2. Données d'entrées des modélisations.....	16
2.1.3. Calage des modèles	16
2.2. RÉSULTATS OBTENUS SUR LE BASSIN DE BIÈVRE-VALLOIRE	17
2.2.1. Piézomètre du bois des Burettes.....	17
2.2.2. Piézomètre de Nantoin	19
2.3. APPORTS DES MODÉLISATIONS GARDENIA.....	19
2.3.1. Comparaison « pluie efficace modélisée » avec « pluie efficace Météo-France »	19
2.3.2. Simulation de l'année critique 1990.....	21
2.3.3. Simulation de quatre années déficitaires.....	24
2.4. LIMITES DES MODÉLISATIONS GARDENIA	28
3. Modélisation des niveaux de nappes et des débits à l'aide du logiciel de type boîte noire TEMPO	29
3.1. MODÈLE TEMPO	29
3.1.1. Principe de la modélisation sous TEMPO	29
3.1.2. Fonctions de transfert utilisées dans le cadre de Bièvre-Valloire	30
3.2. RÉSULTATS OBTENUS SUR LE BASSIN DE BIÈVRE-VALLOIRE	30
3.2.1. Piézomètre du bois des Burettes.....	31
3.2.2. Piézomètre du Nantoin	32
3.2.3. Débits du Rival à Brézins	33
3.3. APPORTS DES MODÉLISATIONS TEMPO	34
3.3.1. Analyse des réponses impulsionnelles.....	34
3.3.2. Simulations	34
3.3.3. Synthèse.....	38

4. Élaboration de règles de gestion volumique	39
4.1. RAPPEL ET COMPLÉMENTS DU BILAN DES PRÉLÈVEMENTS EN NAPPE ET EN RIVIÈRE À L'INTÉRIEUR DES LIMITES DU BASSIN VERSANT DE BIÈVRE-VALLOIRE	39
4.1.1. Compléments sur les prélèvements par type d'usage dans le département de l'Isère	42
4.1.2. Compléments sur les prélèvements et rejets des entreprises piscicoles.....	43
4.1.3. Bilan général annuel et mensuel des prélèvements dans le bassin de Bièvre-Liers-Valloire.....	44
4.2. RÉPARTITION DES FLUX ENTRE L'AQUIFÈRE DES ALLUVIONS ET L'AQUIFÈRE DE LA MOLASSE MIOCÈNE.....	47
4.2.1. Alimentation des alluvions fluvio-glaciaires par les sables molassiques	47
4.2.2. Bilan de flux d'échange entre ces deux formations géologiques	49
4.2.3. Comparaison des résultats de l'étude ANTEA de 1996 avec les hypothèses retenues dans notre étude.....	49
4.3. RAPPEL DU RÉGIME DES PLUIES EFFICACES D'HIVER ET DES PLUIES D'ÉTÉ SUR LE BASSIN BIÈVRE-VALLOIRE DEPUIS 1974.....	50
4.4. RAPPEL SUR LES RELATIONS PLUIE-NIVEAU ET PLUIE-DÉBIT OBSERVÉES SUR LES STATIONS DU BASSIN DE BIÈVRE-VALLOIRE.....	53
4.4.1. Fluctuations interannuelles des niveaux de la nappe des alluvions.....	53
4.4.2. Comparaison des comportements des différents piézomètres du bassin.....	55
4.4.3. Débit du Rival à Brézins, niveau de la nappe au bois des Burettes.....	57
4.4.4. Débit des Collières à Saint-Rambert-d'Albon.....	59
5. Propositions de règles de gestion volumique	63
5.1. SYNTHÈSE SUR LE RÉGIME HYDROLOGIQUE ET HYDROGÉOLOGIQUE DU BASSIN DE BIÈVRE-VALLOIRE.....	63
5.2. CRITÈRES D'ÉVALUATION DE LA SITUATION HYDRO- CLIMATOLOGIQUE DANS LE BASSIN DE BIÈVRE-VALLOIRE	63
5.2.1. Cumul de la pluie efficace depuis le 1 ^{er} septembre.....	64
5.2.2. Niveaux piézométriques observés	65
5.2.3. Débit des cours d'eau	69
5.3. RÈGLES DE GESTION EXISTANTES ET NOUVELLES PROPOSITIONS POUR LE BASSIN DE BIÈVRE-VALLOIRE	71

5.3.1. Règles de gestion existantes dans les départements de la Drôme et de l'Isère	71
5.3.2. Compléments apportés par cette étude pour une plus grande précision des seuils de gestion.....	72
5.4. LIMITES DES POSSIBILITÉS DE GESTION	73
5.5. AMÉLIORATION DU DISPOSITIF DE SUIVI	74
5.6. RÉFLEXIONS SUR LES OBJECTIFS DE GESTION DE LA RESSOURCE EN EAU	75
6. Conclusion	77

Liste des illustrations

Illustration 1 -	Schéma de principe du modèle GARDENIA.	15
Illustration 2 -	Modélisation du niveau piézométrique du bois des Burettes.	18
Illustration 3 -	Modélisation du niveau piézométrique de Nantoin.	18
Illustration 4 -	Comparaison de la pluie efficace calculée lors de la modélisation GARDENIA de la chronique piézométrique de Saint-Étienne-de-Saint-Geoirs avec la pluie efficace Météo-France.	20
Illustration 5 -	Comparaison de la pluie efficace calculée lors de la modélisation GARDENIA de la chronique piézométrique du bois des Burettes avec la pluie efficace Météo-France.	20
Illustration 6 -	Comparaison pluie efficace Météo-France et GARDENIA.	21
Illustration 7 -	Explication des pluies efficaces utilisées pour la simulation de l'année 1990.	22
Illustration 8 -	Piézomètre de Nantoin : simulation de l'année 1990.	22
Illustration 9 -	Piézomètre de Suzon : simulation de l'année 1990.	23
Illustration 10 -	Piézomètre de Saint-Étienne-de-Saint-Geoirs : simulation de l'année 1990. ...	24
Illustration 11 -	Explication des pluies efficaces utilisées pour la simulation des quatre années déficitaires.	25
Illustration 12 -	Piézomètre de Nantoin : simulation de quatre années déficitaires suite à un état moyen de la nappe.	25
Illustration 13 -	Piézomètre de Saint-Étienne-de-Saint-Geoirs : simulation de quatre années déficitaires suite à un état moyen de la nappe.	26
Illustration 14 -	Piézomètre de Suzon : simulation de quatre années déficitaires suite à un état moyen de la nappe.	27
Illustration 15 -	Piézomètre de Manthes (alluvions) : simulation de quatre années déficitaires suite à un état moyen de la nappe.	27
Illustration 16 -	Modélisation TEMPO du niveau piézométrique du bois des Burettes.	31
Illustration 17 -	Réponses impulsionnelles lentes et rapides associées à la modélisation du niveau piézométrique du bois des Burettes.	32
Illustration 18 -	Modélisation TEMPO du niveau piézométrique du Nantoin.	32
Illustration 19 -	Réponses impulsionnelles lentes et rapides associées à la modélisation du niveau piézométrique de Nantoin.	33
Illustration 20 -	Modélisation TEMPO des débits du Rival à Brézins.	33
Illustration 21 -	Calculs de débits à partir de scénarios climatiques.	35
Illustration 22 -	Courbe de fréquence cumulée.	36
Illustration 23 -	Exemple de prévision fournie par TEMPO dans un environnement Excel.	36
Illustration 24 -	Modélisation et simulations TEMPO du niveau piézométrique de Nantoin.	37

Illustration 25 - Modélisation et simulations TEMPO des débits du Rival à Brézins.....	37
Illustration 26 - Modélisation et simulations TEMPO des débits du Rival à Beaufort.	38
Illustration 27 - Bilan des prélèvements annuels par usage et par origine de l'eau (moyenne 2001-2006 d'après données AERM&C).....	45
Illustration 28 - Bilan des prélèvements mensuels par usage et par origine de l'eau (moyenne 2001-2006 d'après données AERM&C).....	46
Illustration 29 - Bilan entrée-sortie dans le bassin de Bièvre-Valloire pour une année hydrologique moyenne type 2004 (année calendaire 2003-2004) et une année avec 40 % de réduction des apports hivernaux.	47
Illustration 30 - Bassin de Bièvre-Valloire, limites d'extension des alluvions, courbes isopièzes 1994, position des piézomètres et localisation du profil nord-sud.	48
Illustration 31 - Coupe hydrogéologique nord-sud. Position de la piézométrie 1994.	48
Illustration 32 - Coupe hydrogéologique nord-sud. Schéma proposé des écoulements et des échanges entre les sables molassiques et les alluvions fluvio- glaciaires.	49
Illustration 33 - Pluies efficaces calculées à la station de Grenoble - Saint-Geoirs (données Météo-France - période 1974-2008).	51
Illustration 34 - Pluies d'été - Cumul des précipitations des mois de juin, juillet et août (données Météo-France - période 1974-2008).	51
Illustration 35 - Corrélation entre les pluies efficaces d'hiver (assimilées aux pluies efficaces calculées sur une année hydrologique) et les pluies d'été (juin, juillet, août).	53
Illustration 36 - Variations des niveaux de la nappe au piézomètre du bois des Burettes, superposition avec les hauteurs des pluies et des pluies efficaces mensuelles.	54
Illustration 37 - Évolution des niveaux piézométriques à Saint-Étienne-de-Saint-Geoirs. Pluies et pluies efficaces mensuelles - Période 1992-2008.....	54
Illustration 38 - Chroniques piézométriques comparées.....	56
Illustration 39 - Débit du Rival à Brézins et niveau piézométrique de la nappe au bois des Burettes.	58
Illustration 40 - Corrélation pluie, pluie efficace et débits des Collières à Saint-Rambert- d'Albon.....	60
Illustration 41 - Évaluation de la situation hydroclimatologique à partir des valeurs cumulées de la pluie efficace (P EFF) fournies par Météo-France pour la station Grenoble - Saint-Geoirs (données de 1974 à 2008) par rapport à la pluie efficace calculée pour l'année moyenne (357,1 mm pour 2004).....	65
Illustration 42 - Évaluation de la situation hydroclimatologique à partir des niveaux piézométriques observés au bois des Burettes (a) et Bougé-Chambal (b).	66
Illustration 43 - Évaluation de la situation hydroclimatologique à partir des niveaux piézométriques observés à Nantoin (a) et à Saint-Étienne-de-Saint-Geoirs (b).	67
Illustration 44 - Évaluation de la situation hydroclimatologique à partir des niveaux piézométriques à Suzon (a) et à Manthes (b).	68

Illustration 45 - Évaluation de la situation hydroclimatologique à partir des débits observés du Rival à Beaufort (a) et à Brézins (b).	70
Illustration 46 - Modélisation du niveau piézométrique de Nantoin.	81
Illustration 47 - Modélisation du niveau piézométrique de Saint-Étienne-de-Saint-Geoirs.	81
Illustration 48 - Modélisation du niveau piézométrique du bois des Burettes.	82
Illustration 49 - Modélisation du niveau piézométrique de Suzon.	82
Illustration 50 - Modélisation du niveau piézométrique de Manthes (alluvions).	83
Illustration 51 - Barre de menu du logiciel TEMPO et outils proposés.	86
Illustration 52 - Modèles construits avec TEMPO sont du type « boîte noire ».	87
Illustration 53 - Exemple illustrant l'action de la fonction de transfert.	89
Illustration 54 - Autre exemple illustrant l'action de la fonction de transfert.	90
Illustration 55 - Exemple de résultats fournis par TEMPO après la phase de calage.	93
Illustration 56 - Modélisation du niveau piézométrique de Nantoin.	97
Illustration 57 - Modélisation du niveau piézométrique de Saint-Étienne-de-Saint-Geoirs – TEMPO.	97
Illustration 58 - Modélisation du niveau piézométrique du bois des Burettes – TEMPO.	98
Illustration 59 - Modélisation du niveau piézométrique de Suzon – TEMPO.	98
Illustration 60 - Modélisation du niveau piézométrique de Manthes (alluvions) – TEMPO.	99
Illustration 61 - Modélisation du niveau piézométrique de Bougé-Chambalud – TEMPO.	99

Liste des tableaux

Tableau 1 -	Piézomètres modélisés sous GARDENIA sur le bassin de Bièvre-Valloire (niveau géologique des alluvions).....	17
Tableau 2 -	Durée des réponses impulsionnelles des modélisations TEMPO sur les niveaux piézométriques sur le bassin versant de Bièvre-Valloire.	34
Tableau 3 -	Tableau de synthèse du nombre de points de prélèvements agricoles localisés sur les communes du SAGE et bancarisés dans les différentes sources de données (reprise du tableau 11 du rapport phase 1, p. 65).....	40
Tableau 4 -	Comparaison des volumes déclarés pour les années 2006 et 2007 et les volumes autorisés pour l'année 2008 bancarisés par la DDAF26 sur les quinze communes du SAGE situées dans la Drôme et impactées par les pompages agricoles (ESO pour eaux souterraines, ESU pour eaux de surface).	41
Tableau 5 -	Comparaison entre les volumes bancarisés par l'AERM&C et la DDAF26 sur les quinze communes du SAGE situées dans la Drôme et impactées par les pompages agricoles.	41
Tableau 6 -	Prélèvements dans la bassin Bièvre-Liers-Valloire (partie Isère). Source AERM&C pour 2001-2004 - unités exprimées en Mm ³ /an.	42
Tableau 7 -	Bilan des prélèvements annuels par usage et par origine de l'eau (moyenne 2001-2006 d'après données AERM&C).....	44
Tableau 8 -	Bilan des rejets annuels en rivières - Estimation 2004.	44
Tableau 9 -	Débits moyens journaliers les plus bas des Collières mesurés à Saint-Rambert-d'Albon.	59
Tableau 10 -	Volume écoulé dans les Collières à Saint-Rambert-d'Albon en Mm ³	59
Tableau 11 -	Éléments de réflexion sur les objectifs de gestion de la ressource en eau du bassin de Bièvre-Valloire.	75

Liste des annexes

Annexe 1 - Modélisation des piézomètres du bassin de Bièvre-Valloire - Logiciel GARDENIA.....	79
Annexe 2 - Compléments sur le fonctionnement du modèle TEMPO.....	85
Annexe 3 - Modélisation des piézomètres du bassin de Bièvre-Valloire - Logiciel TEMPO	95
Annexe 4 - Log géologique du piézomètre de l'Ile à Manthes	101
Annexe 5 - Statistique des pluies efficaces d'hiver et des pluies d'été à la station météorologique de Météo-France de Grenoble - Saint-Geoirs (période 1974-2008)	105

1. Introduction

Le développement conséquent des usages, conjugué aux problèmes de ressource en eau souterraine lié à une diminution des pluies efficaces d'hiver, rend nécessaire une gestion durable et plus adaptée de la ressource qui prendrait en compte à la fois les besoins et le stock utilisable, tout en assurant la préservation et protection de cette ressource. La mise en place d'une structure de gestion (SAGE) nécessite en effet, dans la phase dite d'état des lieux, de disposer des éléments d'appréciation utiles sur les eaux souterraines.

La DIREN Rhône-Alpes a donc demandé l'étude de l'impact des prélèvements et la définition de règles de gestion de la ressource en eau souterraine pour la nappe de Bièvre-Valloire située dans les départements de l'Isère (38) et de la Drôme (26). Ce territoire est également celui d'un SAGE dont les objectifs de connaissance de la ressource locale sont également forts et similaires. Les données disponibles et le niveau des connaissances antérieures sont à même de justifier une étude approfondie de cette nappe, dans sa dynamique et sa vulnérabilité aux sollicitations qu'elle subit.

En réponse à cette attente, le BRGM (SGR Rhône-Alpes) a conçu un programme d'étude pour **la nappe de Bièvre-Valloire** en trois étapes. Ce programme comprend tout d'abord l'acquisition, la mise en forme et l'analyse des données disponibles, puis la modélisation hydrodynamique des écoulements dans le bassin étudié (modèle global GARDENIA) et enfin l'élaboration de règles de gestion volumique de la ressource en eau du bassin (avec un dispositif de suivi des consommations).

Ce rapport présente les résultats de la phase 2 « Modélisation globale des écoulements souterrains » et de la phase 3 « Élaboration de règles de gestion volumique ».

2. Modélisation des niveaux de nappe à l'aide du logiciel global à réservoirs GARDENIA

Le modèle GARDENIA permet une simulation des niveaux de nappe et des débits de rivière, mais comme il le sera expliqué dans le chapitre ci-dessous, les simulations GARDENIA faites dans cette étude Bièvre-Valloire ne porteront que sur les relations pluie-niveau des nappes.

2.1. MODÈLE GARDENIA

2.1.1. Principe et intérêt de la modélisation pluie-niveau et pluie-débit avec le logiciel GARDENIA

Le logiciel GARDENIA est un modèle analogique à réservoirs (ill. 1) qui permet de simuler à partir des données de pluie et d'évapotranspiration (ETP) les chroniques de :

- niveau piézométrique dans une nappe ;
- débit d'une source, ou d'un cours d'eau.

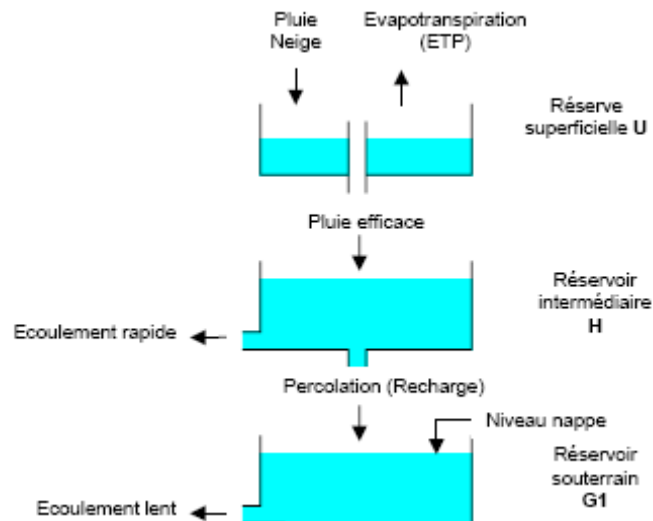


Illustration 1 - Schéma de principe du modèle GARDENIA.

La modélisation des relations pluie-niveau ou pluie-débit fait intervenir une dizaine de paramètres globaux (réserve utile, temps de tarissement, etc.) définis pour un bassin versant ou une entité homogène au sein d'un bassin versant. Ces paramètres doivent être ajustés sur une période d'observation commune des pluies et des niveaux (ou des débits). Cette phase de calage du modèle est réalisée automatiquement par le logiciel sous contrôle de l'utilisateur.

À l'issue du calage, GARDENIA permet :

- d'établir 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 ;
- de réaliser une extension des chroniques de débits, de niveaux piézométriques ou de recharges pendant une longue période durant laquelle les précipitations et l'évapotranspiration potentielle sont connues.

Ces longues séries de niveaux ou de débits peuvent ensuite être utilisées pour :

- effectuer des prévisions de niveaux ou de débits pour la gestion de la ressource ;
- l'étude de phénomènes particuliers, tels que remontées de nappe, occurrence d'inondations ou de sécheresses.

2.1.2. Données d'entrées des modélisations

Dans cette étude, les modélisations ont été réalisées au pas de temps décennales. Les données d'entrées des modèles sont constituées par :

- les données pluviométriques décennales mesurées à la station de Météo-France de Saint-Étienne-de-Saint-Geoirs ;
- les données décennales d'évapotranspiration potentielle PENMAN MONTEITH mesurées à la station de Saint-Étienne-de-Saint-Geoirs et fournies par Météo-France ;
- les données de niveaux piézométriques au droit des piézomètres de la DIREN/RHA.

2.1.3. Calage des modèles

a) Calage pluie-niveau piézométrique

Tous dls piézomètres du bassin captant les alluvions sont modélisés (tabl. 1), à l'exception du piézomètre de Bougé-Chambalud (07703X0043) du fait de l'impact significatif de pompes saisonnières réalisés à proximité de celui-ci, ce qui ne permet pas un calage avec GARDENIA.

Le piézomètre de l'Île à Manthes qui capte la nappe du Miocène-Pliocène ne sera pas non plus modélisé par cet outil vu le fort impact des pompes sur cet ouvrage et vu que l'alimentation de la nappe du Miocène n'est pas directement liée aux précipitations sur le bassin.

b) Calages pluie-débit

Ce type de simulation s'applique sur des bassins versants bien délimités, sur lesquels il est possible d'établir un bilan classique entrées-sorties sur les flux d'eau. Dans le cas

du bassin de Bièvre-Valloire, les divergences entre les bassins hydrologiques et hydrogéologiques, la prédominance des flux souterrains sur les flux de surface, et le fait qu'il soit difficile d'estimer les apports de la molasse aux alluvions rendent l'exercice impossible.

2.2. RÉSULTATS OBTENUS SUR LE BASSIN DE BIÈVRE-VALLOIRE

Le tableau 1 récapitule les chroniques piézométriques modélisées sur le bassin de Bièvre-Valloire à l'aide du logiciel GARDENIA ainsi que les coefficients de corrélation obtenus.

Les modélisations des piézomètres du bois des Burettes et de Nantoin sont présentées dans ce chapitre. L'ensemble des modélisations est présenté en annexe 1 de ce rapport.

N°	N° DIREN	Indice	Commune	Année début	Année fin	Coefficient de corrélation R ² du modèle
1	P3827401	07477X0048	Nantoin	1991	2007	0,907
2	P3838401	07714X0054	Saint-Étienne-de-Saint-Geoirs	1992	2007	0,882
3	P3830001	07476X0029	Bois des Burettes	1989	2007	0,937
4	P3831101	07475X0008	Suzon	1999	2007	0,889
5	P2617201	07704X0079	Manthes	1974	2007	0,842

Tableau 1 - Piézomètres modélisés sous GARDENIA sur le bassin de Bièvre-Valloire (niveau géologique des alluvions).

2.2.1. Piézomètre du bois des Burettes

La modélisation à l'aide du logiciel GARDENIA du niveau de nappe entre 1991 et 2007 du piézomètre du bois des Burettes est présentée sur l'illustration 2. Les niveaux hauts et bas sont globalement assez bien retranscrits même s'il l'on observe quelques écarts, en particulier lors des étés 1993 et 1994 et des hivers 1999 et 2003.

Le coefficient de corrélation est de 0,926.

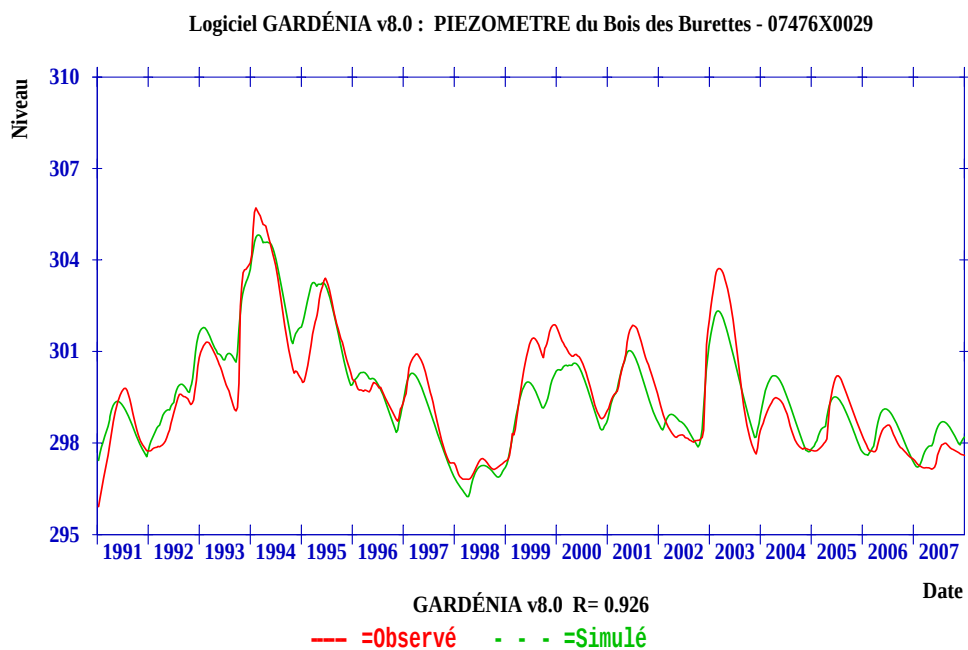


Illustration 2 - Modélisation du niveau piézométrique du bois des Burettes.

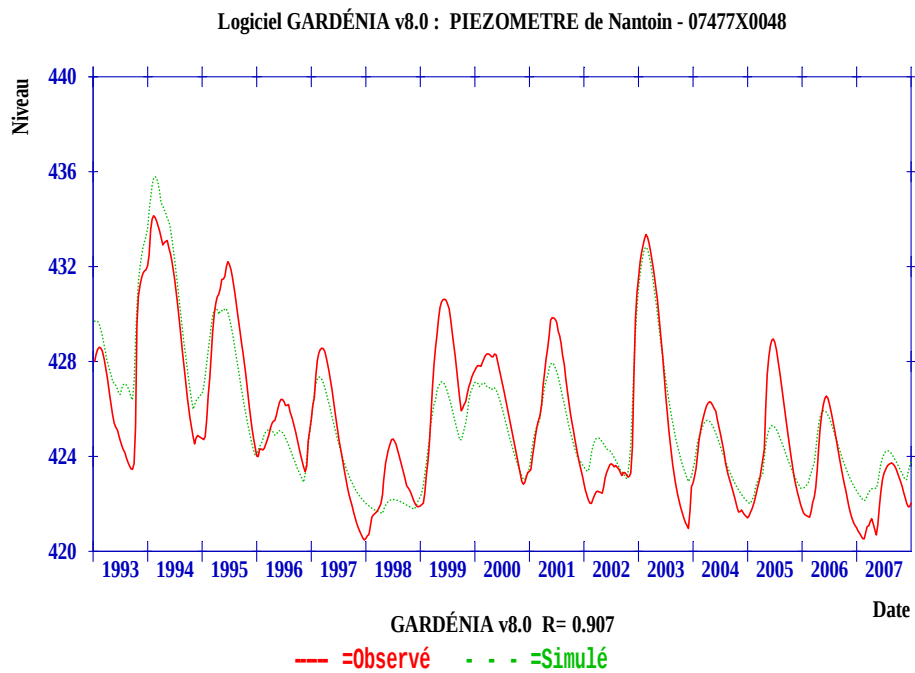


Illustration 3 - Modélisation du niveau piézométrique de Nantoin.

2.2.2. Piézomètre de Nantoin

La chronique modélisée du piézomètre de Nantoin est présentée sur l'illustration 3. Les premières années de simulation (1993-1995) peinent à être reproduites, mais la modélisation s'affine sur la suite de la chronique. L'hiver 2005 et l'été 2006 sont insuffisamment bien reproduits.

Le coefficient de corrélation est de 0,907.

2.3. APPORTS DES MODÉLISATIONS GARDENIA

GARDENIA permet, dans cette étude, de vérifier et de simuler les points importants suivants du projet :

- comparaison et validation des données pluies efficaces de Météo-France ;
- simulation de l'année critique de 1990 sur les piézomètres qui n'existaient à cette époque ;
- simulation d'une série de quatre années successives déficitaires.

2.3.1. Comparaison « pluie efficace modélisée » avec « pluie efficace Météo-France »

L'un des apports des modélisations réalisées avec le logiciel GARDENIA est l'obtention, pour chaque piézomètre, d'une pluie efficace obtenue par optimisation des paramètres physiques du réservoir superficiel (tels que la RU...) et des données de pluviométrie et d'ETP de Météo-France. Cette optimisation est faite au regard du calage des modèles piézométriques.

La lame d'eau ainsi obtenue est alors comparée aux données mensuelles de pluie efficace donnée par Météo-France au niveau du bassin de la Bièvre (ill. 4 et 5). Sur les graphiques, la pluie efficace de Météo-France est en orange, tandis que celle calculée par le logiciel GARDENIA est représentée en vert.

On présente sur l'illustration 6 les pluies efficaces de Météo-France et celles calculées par GARDENIA.

La similitude des valeurs obtenues est gage de la fiabilité du modèle utilisé par Météo-France pour calculer la pluie efficace sur ce bassin versant et permet ainsi de justifier leur emploi pour les bilans des flux d'eau sur le bassin.

Les légères différences observées se situent majoritairement au début des hivers et s'expliquent par la prise en compte de réserves utiles des sols légèrement plus conséquentes dans le modèle GARDENIA.

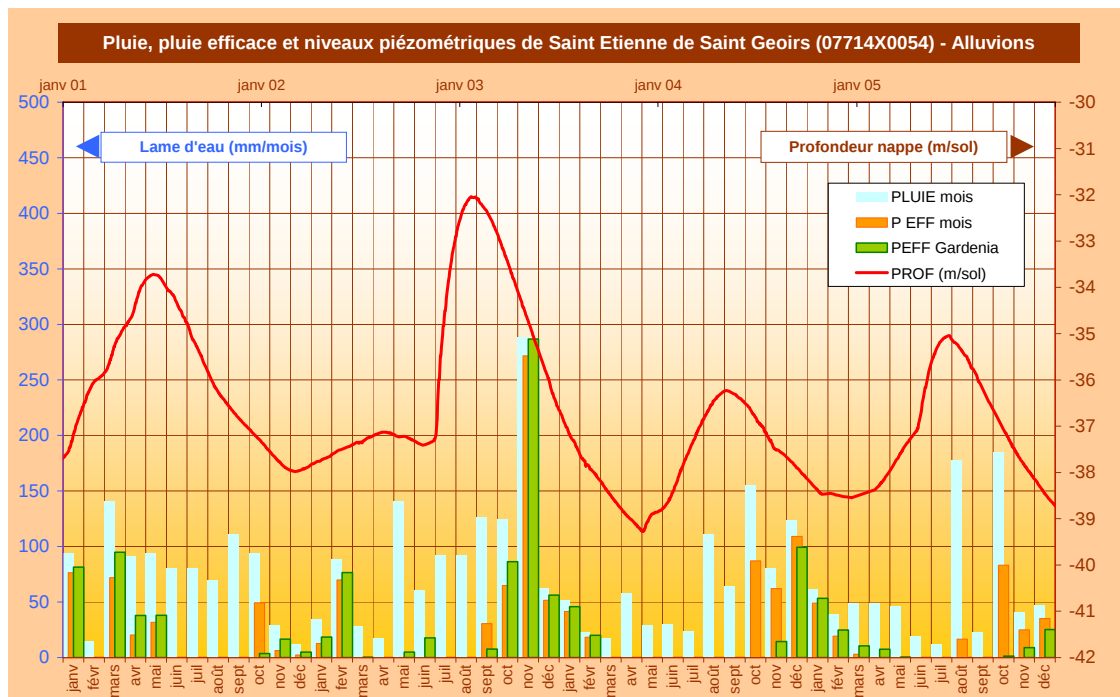


Illustration 4 - Comparaison de la pluie efficace calculée lors de la modélisation GARDENIA de la chronique piézométrique de Saint-Étienne-de-Saint-Geoirs avec la pluie efficace Météo-France.

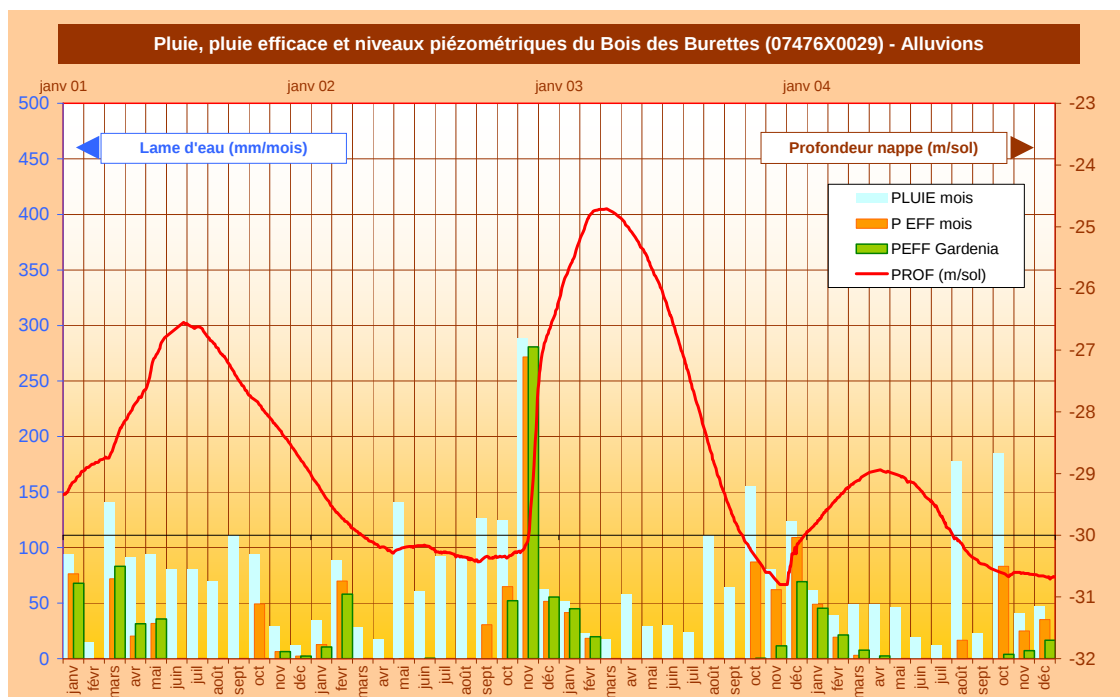


Illustration 5 - Comparaison de la pluie efficace calculée lors de la modélisation GARDENIA de la chronique piézométrique du bois des Burettes avec la pluie efficace Météo-France.

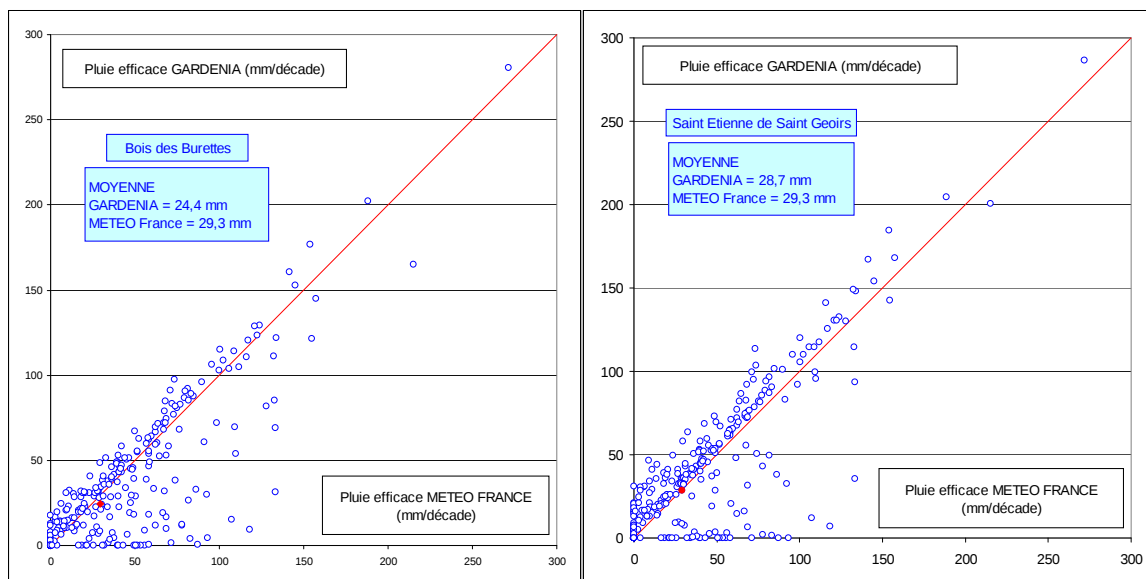


Illustration 6 - Comparaison pluie efficace Météo-France et GARDENIA.

2.3.2. Simulation de l'année critique 1990

La reconstitution de l'année 1990, année particulièrement déficitaire, a été réalisée uniquement pour les piézomètres de Nantoin, Saint-Étienne-de-Saint-Geoirs et du Suzon, les trois autres piézomètres captant la nappe alluviale ayant des enregistrements sur cette période.

Ces reconstitutions ont été réalisées en considérant les conditions météorologiques particulièrement extrêmes (pluie et ETP) de 1990. L'état piézométrique initial pris en compte est celui de septembre 2004 puisque les conditions météorologiques des années 2002-2003 et 2003-2004 sont assez voisines de celles des années 1987-1988 et 1988-1989 qui précèdent cette année type.

L'illustration 7 représente les pluies efficaces observées de 1984 à 2005 sur le bassin de Bièvre-Valloire (données Météo-France) ainsi que les pluies efficaces utilisées pour simuler l'année type 1990 à la suite de l'état piézométrique moyen (septembre 2004). L'illustration 8 représente les niveaux observés et simulés sur le piézomètre de Nantoin.

La courbe bleue représente la chronique observée au niveau du piézomètre de Nantoin de 1991 à 2004. La courbe rouge présente le calage obtenu avec le logiciel de modélisation GARDENIA sur la même période. Enfin, la courbe verte, établie d'octobre 2004 à septembre 2005, est la simulation de l'année type 1990. Cette simulation est obtenue en conservant les coefficients calés sur les années 1991 à 2004 et en considérant les conditions climatiques de 1990 en entrée du modèle.

Cette simulation de l'année critique sèche simule une très faible recharge de la nappe qui ne contribue qu'à atténuer la baisse de niveau qui débute à l'été précédent. Le minimum est atteint à l'été de l'année simulée et se situe à 420,5 m NGF.

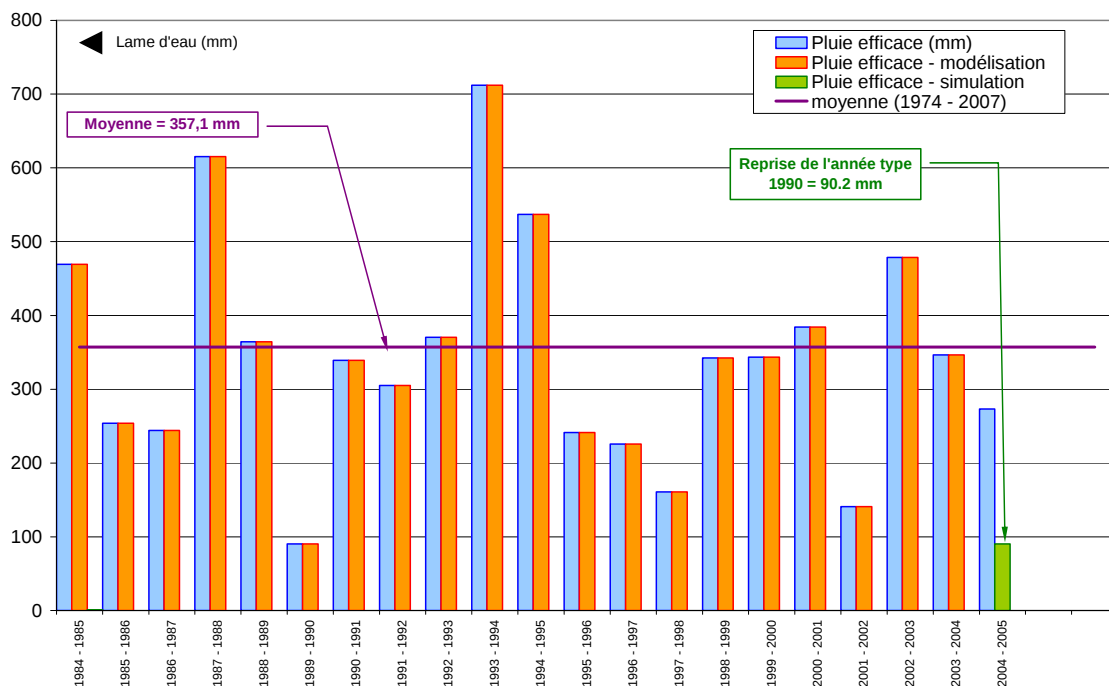


Illustration 7 - Explication des pluies efficaces utilisées pour la simulation de l'année 1990.

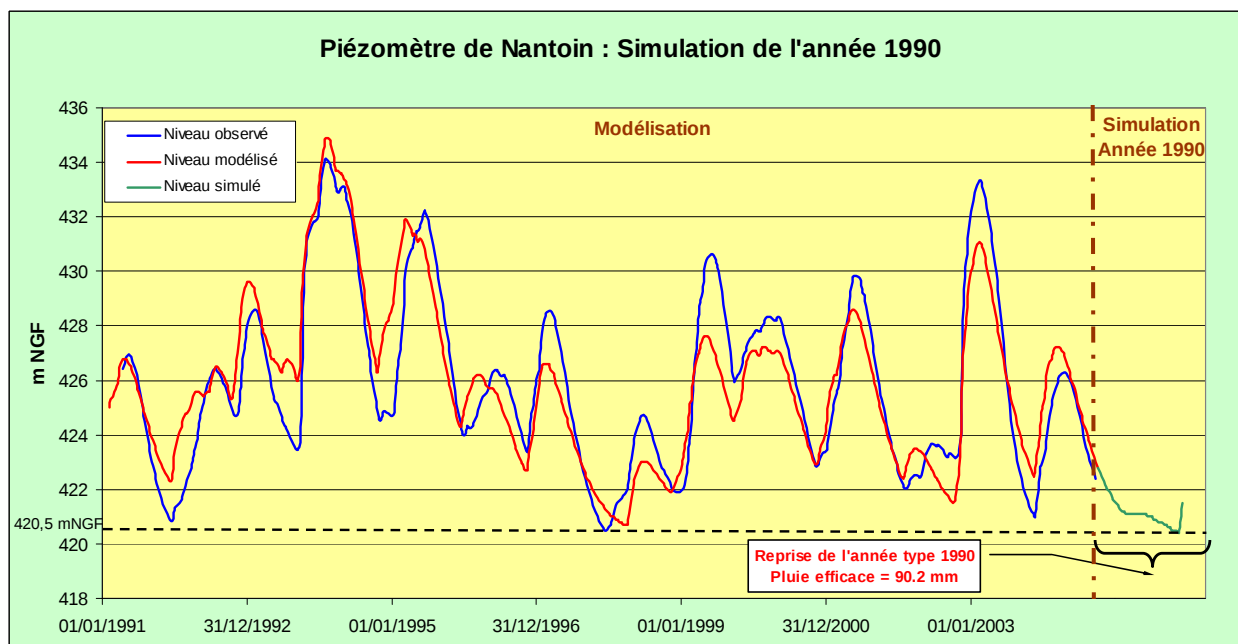


Illustration 8 - Piézomètre de Nantoin : simulation de l'année 1990.

Remarque : Ce niveau est proche des minimums de niveau atteints par le passé (étés 1991 et 1997). À noter que le modèle hydrologique global GARDENIA appliqué aux niveaux piézométriques prend en compte le paramètre « niveau de base » qui correspond au niveau qui serait atteint en l'absence totale d'alimentation au bout d'un temps infini. Ce niveau de base est un paramètre d'optimisation du calage et correspond le plus souvent, après optimisation, à une valeur proche du niveau minimal observé. De ce fait, dans certains cas, le modèle peut avoir des difficultés à simuler des niveaux inférieurs à ceux observés.

La simulation de l'année sèche type dans le cas du piézomètre de Suzon donne un minimum à 287,7 m NGF (ill. 9).

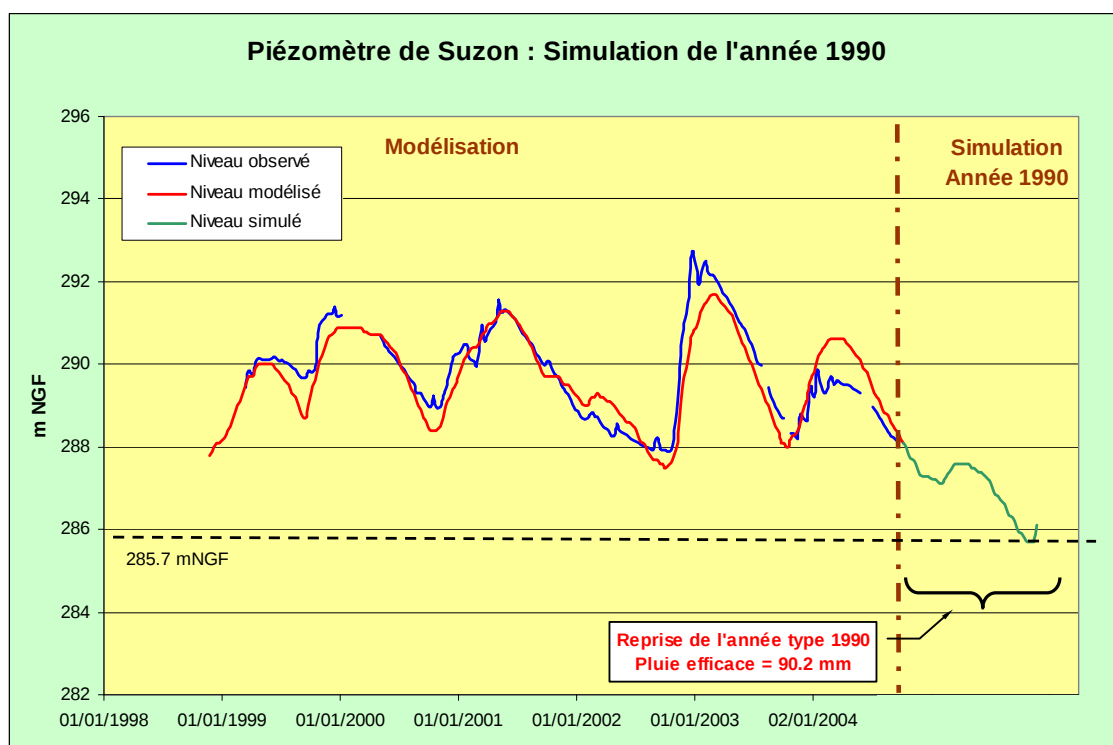


Illustration 9 - Piézomètre de Suzon : simulation de l'année 1990.

Dans le cas du piézomètre de Saint-Étienne-de-Saint-Geoirs, la simulation de l'année sèche type donne un minimum à 361,1 m NGF, proche du niveau observé à l'été 1997 (ill. 10). Comme dans les deux cas précédents, ce niveau bas provient essentiellement d'une très faible recharge hivernale suivie d'une baisse estivale modérée.

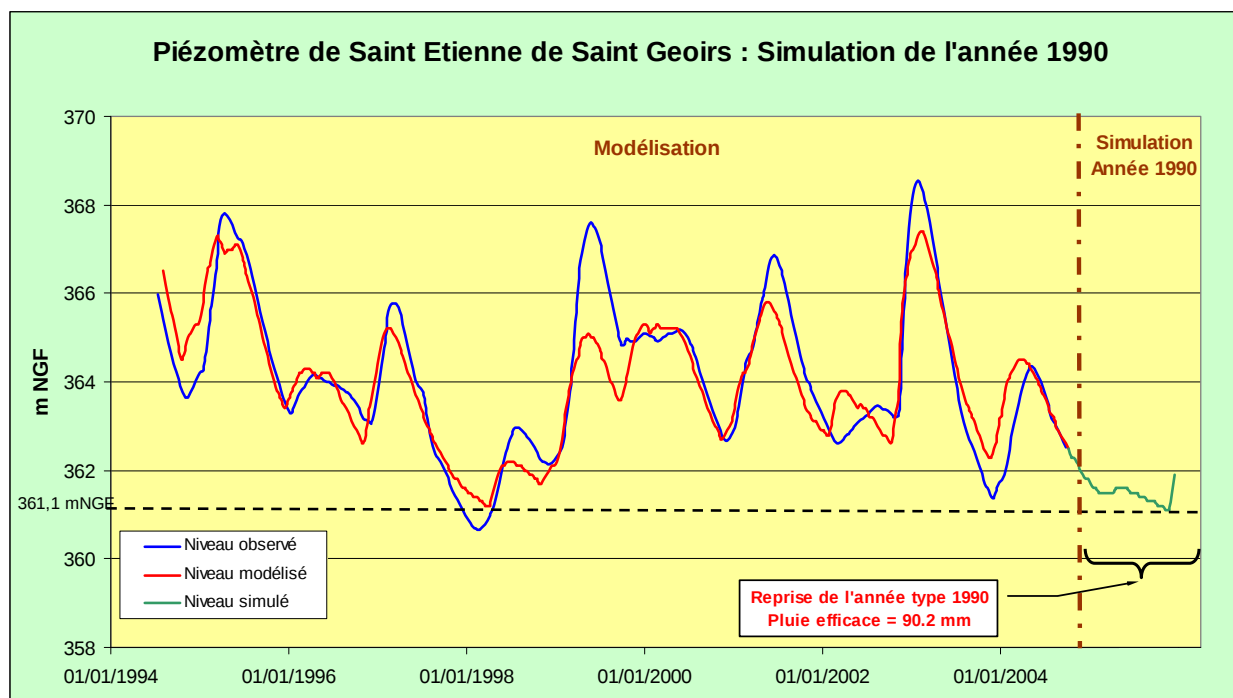


Illustration 10 - Piézomètre de Saint-Étienne-de-Saint-Geoires : simulation de l'année 1990.

2.3.3. Simulation de quatre années déficitaires

La succession de plusieurs années déficitaires (même faiblement) apparaît être plus préjudiciable que des années particulièrement sèches mais ne se répétant pas. La période 2003-2008 est à ce titre la plus illustrative.

Le modèle GARDENIA permet de simuler l'impact de quatre années déficitaires sur le niveau de nappe des piézomètres précédemment étudiés. Ces simulations sont réalisées suite à l'année hydrologique 2000-2001, afin de débiter à un état piézométrique moyen (après trois années de pluviométrie proche de la valeur moyenne).

Chaque année de simulation est calculée en entrant les conditions météorologiques de l'année hydrologique 1996-1997, dont la pluie efficace annuelle fut de 225 mm (63 % de la pluie efficace moyenne habituelle sur le bassin) (ill. 11).

La courbe bleue représente la chronique observée au niveau du piézomètre de Nantoin de 1991 à 2001 (ill. 12). La courbe rouge présente le calage obtenu avec le logiciel de modélisation GARDENIA sur la même période. Enfin, la courbe verte, établie d'octobre 2001 à septembre 2005, est la simulation de quatre années hydrologiques de pluviométrie déficitaire. Cette simulation est obtenue en conservant les coefficients calés sur les années 1991 à 2005 et en considérant sur chacune des quatre années de simulation les conditions climatiques de l'année 1996-1997 en entrée du modèle.

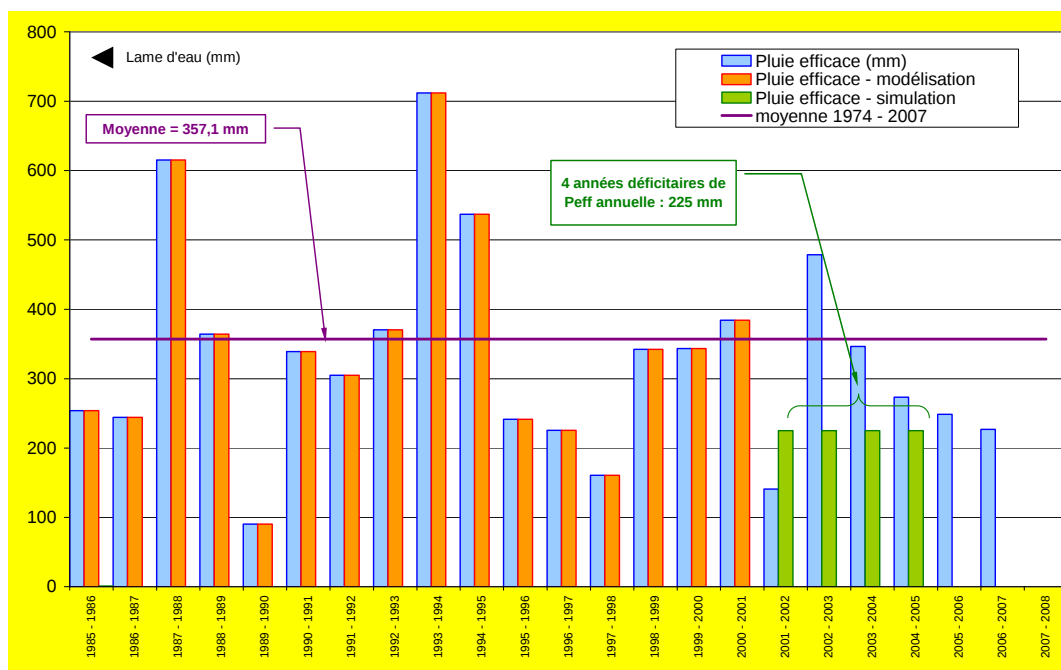


Illustration 11 - Explication des pluies efficaces utilisées pour la simulation des quatre années déficitaires.

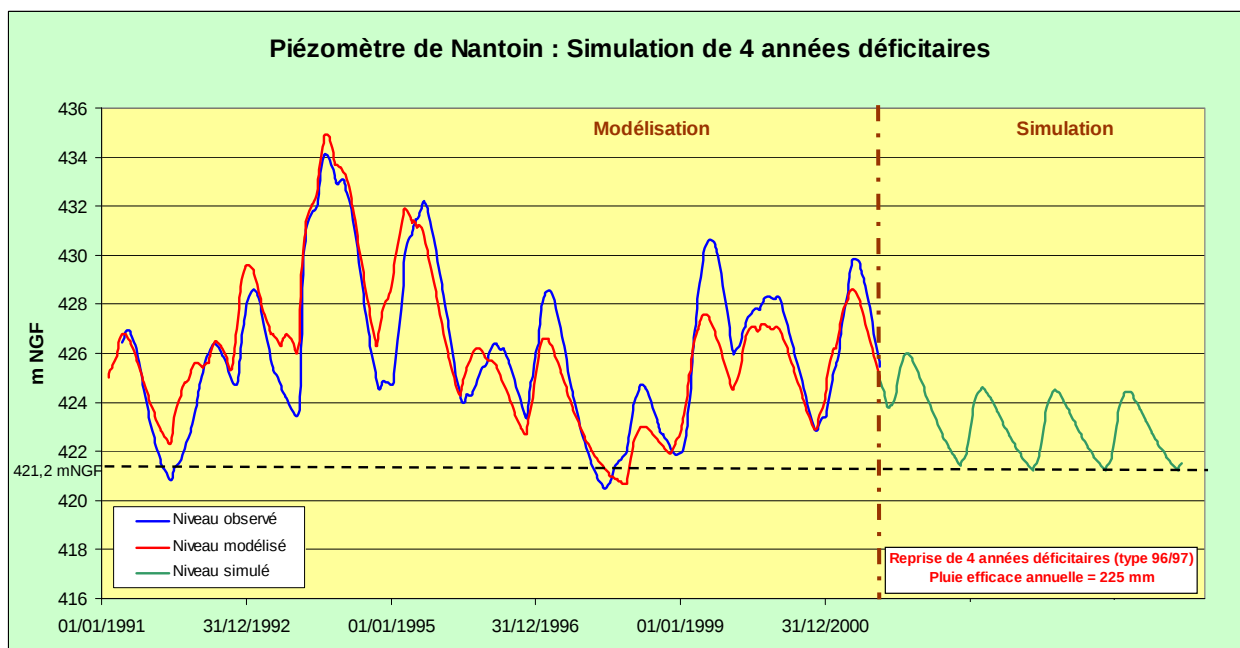


Illustration 12 - Piézomètre de Nantoin : simulation de quatre années déficitaires suite à un état moyen de la nappe.

Cette simulation de quatre années hydrologiques déficitaires engendre un minimum de 421,2 m NGF, légèrement au-dessus de la valeur obtenue lors de la simulation de l'année 1990. Le niveau de base utilisé pour la modélisation possède une valeur

proche du niveau minimal observé en 1990 et explique le fait que l'on n'observe pas de grandes différences de comportement sur les deux dernières années déficitaires.

Pour le piézomètre de Saint-Étienne-de-Saint-Geoirs, cette simulation d'années hydrologiques déficitaires engendre un niveau minimum de la nappe de 296,7 m NGF (ill. 13).

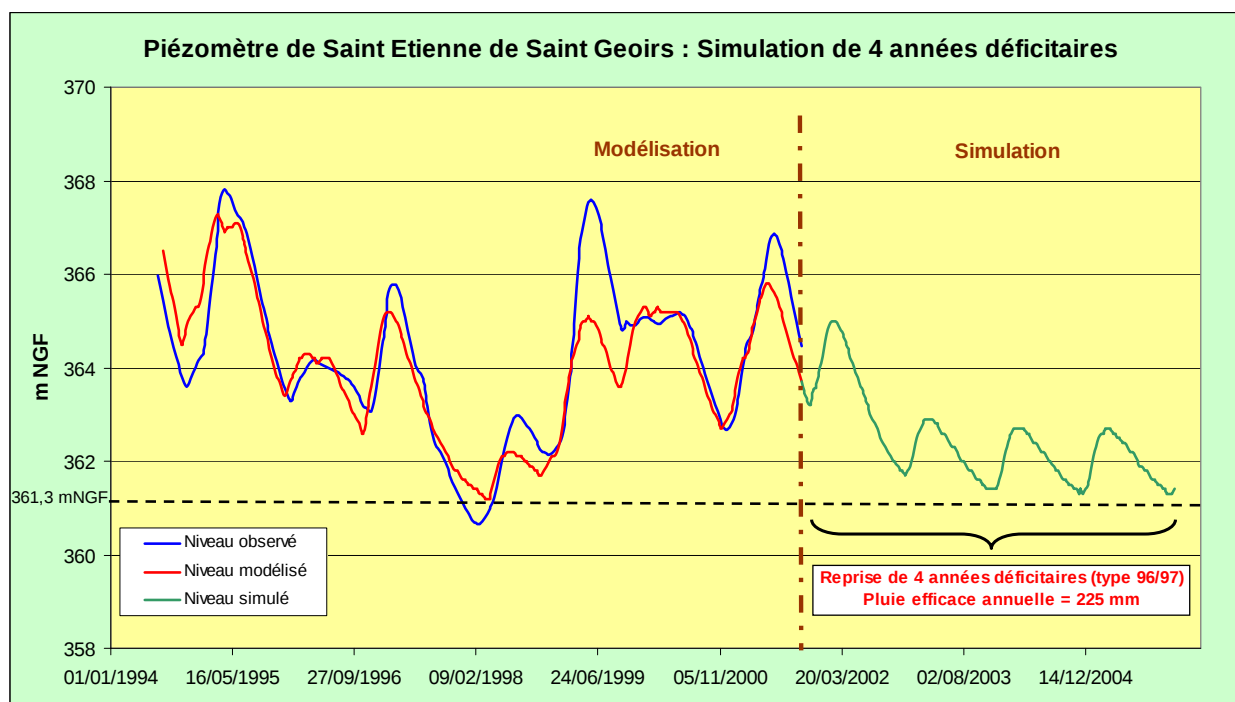


Illustration 13 - Piézomètre de Saint-Étienne-de-Saint-Geoirs : simulation de quatre années déficitaires suite à un état moyen de la nappe.

Dans le cas du piézomètre de Suzon, cette simulation d'années hydrologiques déficitaires engendre un niveau minimum de la nappe de 284,5 m NGF (ill. 14).

La simulation des quatre années déficitaires sur le piézomètre de Manthes (07704X0079) montre que l'on passe sous le niveau de 230 m NGF après deux années seulement (ill. 15).

Dès lors, la simulation ne peut puisque sous ce niveau seuil, on observe habituellement (particulièrement lors des années 1990 et 1998 ; de façon moins marquée en 2007) un décrochement de la nappe due à la combinaison de deux phénomènes : un changement de régime dynamique lorsque la source de Manthes se tarie auquel s'ajoute des pompages en nappe plus importants de l'activité piscicole pour compenser la perte des volumes habituellement débités par la source.

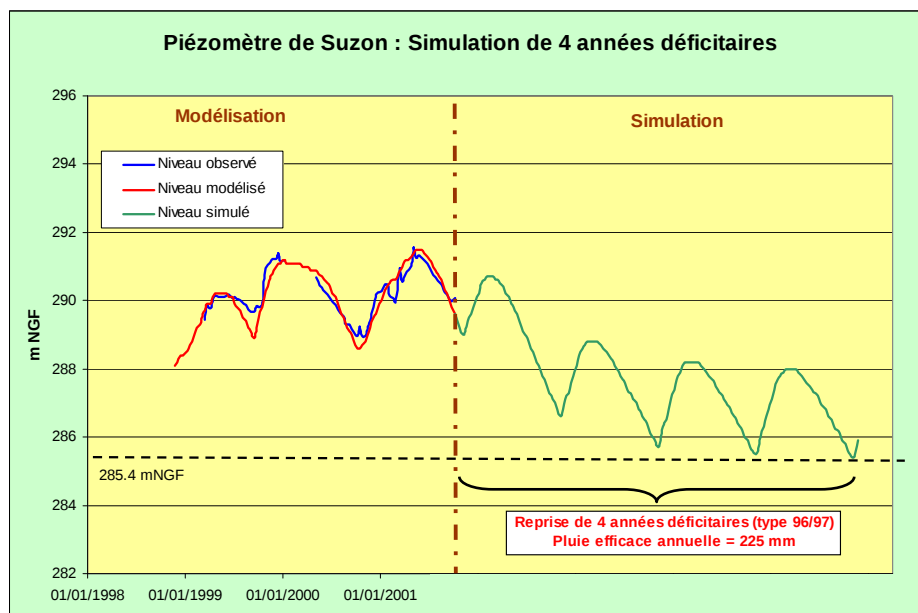


Illustration 14 - Piézomètre de Suzon : simulation de quatre années déficitaires suite à un état moyen de la nappe.

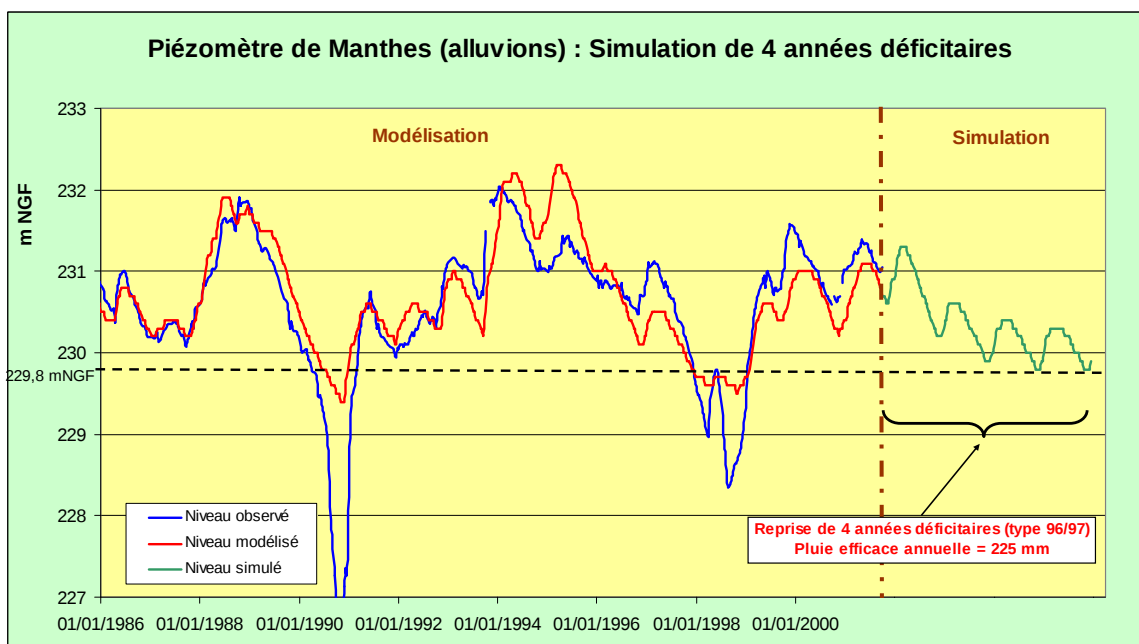


Illustration 15 - Piézomètre de Manthes (alluvions) : simulation de quatre années déficitaires suite à un état moyen de la nappe.

2.4. LIMITES DES MODÉLISATIONS GARDENIA

Ce type de modélisation globale à réservoirs s'applique sur des bassins versants bien délimités, sur lesquels il est possible d'établir un bilan classique entrées-sorties des flux d'eau.

Dans le cas du bassin de Bièvre-Valloire, les divergences entre les bassins hydrologiques et hydrogéologiques, la prédominance des flux souterrains sur les flux de surface, et le fait qu'il soit difficile d'estimer les apports de la molasse aux alluvions rendent l'exercice de la modélisation des débits à l'exutoire impossible.

3. Modélisation des niveaux de nappes et des débits à l'aide du logiciel de type boîte noire TEMPO

3.1. MODÈLE TEMPO

3.1.1. Principe de la modélisation sous TEMPO

Le logiciel TEMPO, développé par le BRGM, est utilisé depuis plusieurs années dans les domaines de l'hydrologie et de l'hydrogéologie pour **modéliser et prévoir des niveaux de nappes ou des débits à l'exutoire d'un bassin versant**.

TEMPO est un logiciel intégrant de nombreuses méthodes permettant de traiter des séries temporelles. TEMPO peut donc être considéré comme apparenté aux logiciels de **traitement du signal** (un « signal » étant une variable évoluant dans le temps). D'autres thématiques, en dehors du champ de l'hydro(géo)logie, ont fait l'objet de modélisations par TEMPO. On peut citer l'étude des mécanismes de transfert du radon depuis le sol vers les habitations en Lorraine (rapport BRGM/RP-53886-FR).

En hydrogéologie, TEMPO est principalement utilisé pour décrire le fonctionnement d'un hydrosystème : une pluie de durée et d'intensité suffisante, en période hivernale par exemple (où l'ETP est faible), va induire :

- une élévation du niveau de la nappe (due à la part infiltrée de la pluie), hausse du niveau qui se manifestera avec un certain temps de retard, fonction des caractéristiques de l'aquifère ;
- une augmentation du débit du cours d'eau, due à la fraction de la pluie qui va ruisseler (la réaction du bassin superficiel à la pluie sera plus rapide que celle de la nappe) et à la contribution éventuelle de la nappe (contribution qui sera, elle, différée).

TEMPO simule l'addition de plusieurs écoulements : un écoulement « rapide » et un écoulement « lent ». L'écoulement rapide pour un piézomètre peut correspondre à une alimentation venant, par percolation, du sol, et l'écoulement « lent » une alimentation provenant de la vidange de la partie amont du bassin versant.

La modélisation d'un tel hydrosystème avec TEMPO consistera à reproduire les niveaux de la nappe et/ou les débits à l'exutoire à l'aide des données climatiques, pluies et ETP.

Le système est considéré comme un « tout » et la modélisation est dite « globale ».

Contrairement à un modèle maillé (spatialisé), **une modélisation globale ne permettra pas d'établir de différenciations spatiales**. Par exemple, une zone à forte concentrations de pompages ou un secteur aquifère plus productif ou zone de forte infiltration, ne seront pas pris explicitement en compte.

Le modèle construit avec TEMPO sera un **modèle de type « boîte noire »** (en se référant à la typologie établie pour classer les modèles).

La liaison entre « entrée » et « sortie » est assurée par l'intermédiaire d'une fonction qui doit caractériser globalement l'hydrosystème (et qui permet de s'affranchir de tous les paramètres inconnus du bassin superficiel et souterrain).

La fonction recherchée doit reproduire le fonctionnement de l'hydrosystème, c'est-à-dire sa réponse aux épisodes pluvieux (élévation du niveau de la nappe, augmentation du débit à l'exutoire...). La sortie calculée (niveaux ou débits) doit s'ajuster au mieux sur la série de mesures en reproduisant en particulier :

- les déphasages : il y a généralement une réaction différée de l'hydrosystème aux épisodes pluvieux, le « temps retard » étant plus ou moins important en fonction des caractéristiques du bassin (taille, topographie, densité de drainage, paramètres hydrodynamiques de l'aquifère sous-jacent) ;
- les amplitudes de fluctuations.

La fonction recherchée est appelée fonction de transfert.

3.1.2. Fonctions de transfert utilisées dans le cadre de Bièvre-Valloire

Dans le cadre des modélisations réalisées sur le bassin de Bièvre-Valloire, deux types de fonctions de transfert (FT) ont été introduites :

- la première permet de décrire la réponse du « *niveau piézométrique* » aux « *épisodes pluvieux* » ;
- la seconde relie la « *chronique de débit* » (à l'exutoire) à une entrée « *climatologique* » (P, ETP).

Remarque : Habituellement, une entrée « *piézométrique* » peut être ajoutée pour la modélisation des chroniques de débits lorsque la nappe soutient le débit du cours d'eau. Ce n'est pas le cas pour le ruisseau du Rival qui réagit uniquement aux impulsions des épisodes pluvieux et qui présente des débits nuls aux étiages. Seuls l'entrée climatique est donc prise en compte dans ces modélisations.

3.2. RÉSULTATS OBTENUS SUR LE BASSIN DE BIÈVRE-VALLOIRE

Les illustrations suivantes présentent les chroniques observées et modélisées des piézomètres du bois des Burettes et de Nantoin, ainsi que les réponses impulsionnelles lente et rapide associées à ces simulations. L'ensemble des modélisations des niveaux piézométriques est présenté en annexe 3.

3.2.1. Piézomètre du bois des Burettes

La modélisation de la chronique piézométrique du bois des Burettes est bien reproduite dans l'ensemble par le logiciel TEMPO tant au niveau des variations saisonnières que des cycles pluriannuels (ill. 16). Le coefficient de corrélation R^2 est de 0,893. Certaines années, comme 2005 et 2006 sont moins bien calées. Cela correspond à la difficulté de restituer des chroniques piézométriques uniquement à partir des précipitations alors que d'autres facteurs interviennent (prélèvements, zones de recharge, ect...)

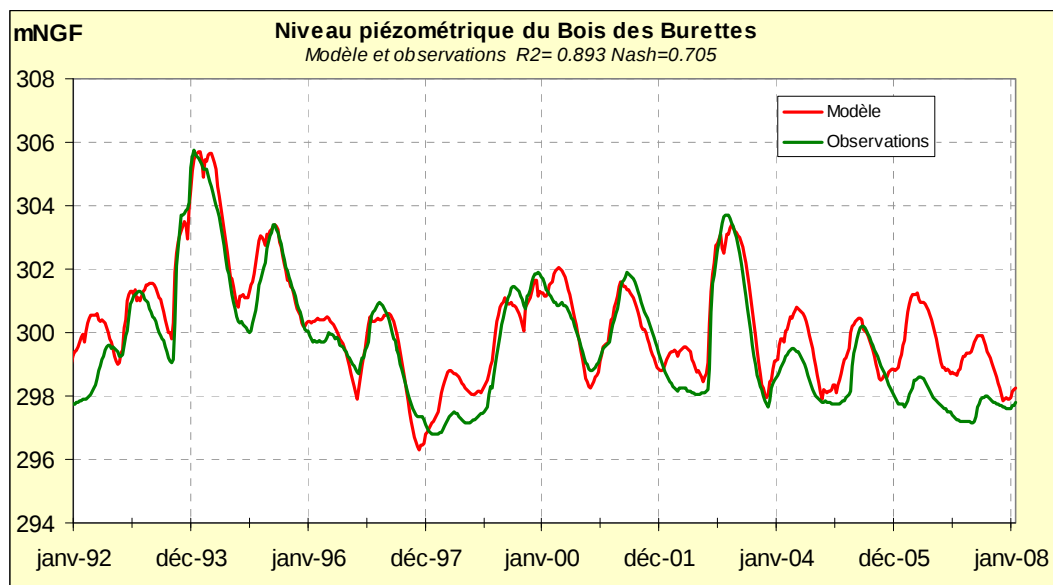


Illustration 16 - Modélisation TEMPO du niveau piézométrique du bois des Burettes.

Les réponses impulsionnelles lente et rapide associées à cette modélisation sont présentées sur l'illustration 17. La réponse courte qui correspond aux écoulements rapides de la nappe est de 70 jours. Les écoulements lents sont décrits par une durée de réponse impulsionnelle de 510 jours.

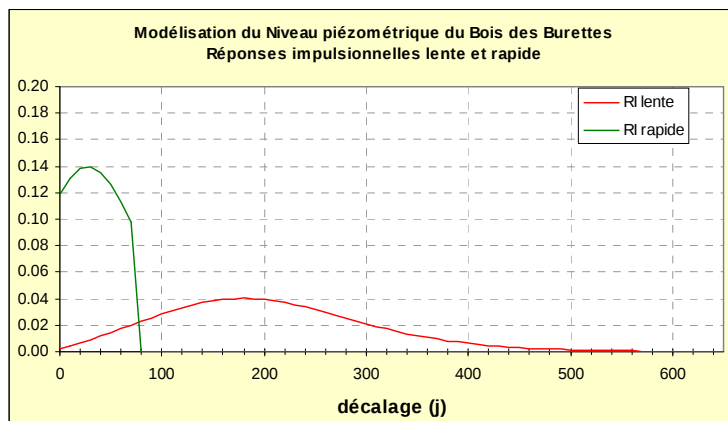


Illustration 17 - Réponses impulsionnelles lentes et rapides associées à la modélisation du niveau piézométrique du bois des Burettes.

3.2.2. Piézomètre du Nantoin

De la même façon, la modélisation de la chronique piézométrique de Nantoin retrace bien les variations saisonnières et les cycles pluriannuels (ill. 18). Le coefficient de corrélation R^2 est de 0,914.

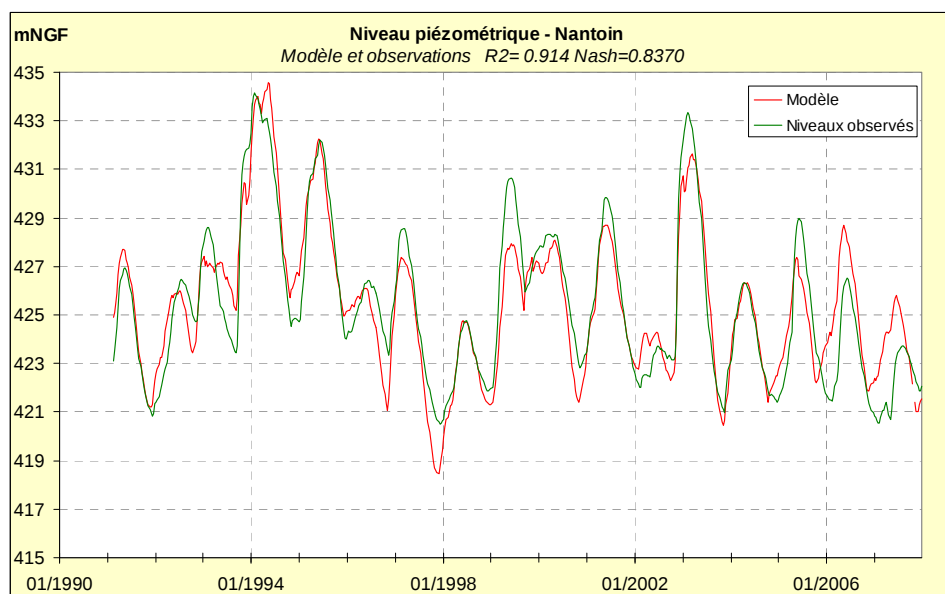


Illustration 18 - Modélisation TEMPO du niveau piézométrique du Nantoin.

Les réponses impulsionnelles lente et rapide associées à cette modélisation sont présentées sur l'illustration 19. La réponse courte est de 60 jours. Les écoulements lents sont décrits par une durée de réponse impulsionnelle de 450 jours.

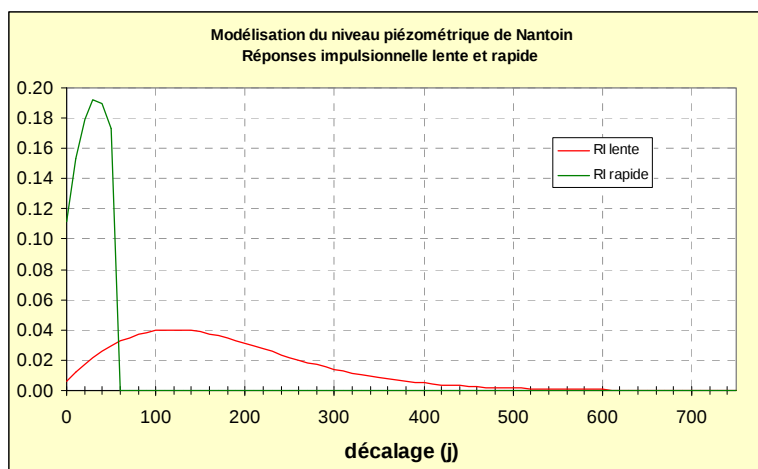


Illustration 19 - Réponses impulsionnelles lentes et rapides associées à la modélisation du niveau piézométrique de Nantoin.

3.2.3. Débits du Rival à Brézins

L'illustration 20 présente la modélisation du débit du Rival à Brézins. Aucun niveau de nappe n'a été considéré en entrée de cette modélisation qui repose donc uniquement sur les données de pluie et d'ETP. On observe en effet aucun soutien de la nappe au cours d'eau. Étiages et pics de crue sont bien reproduits par cette modélisation.

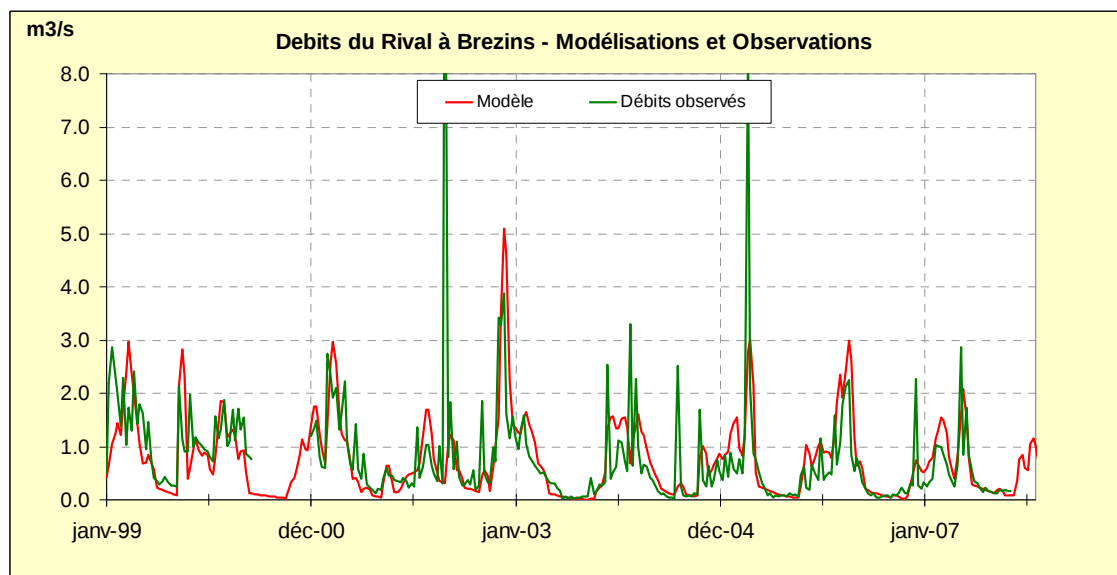


Illustration 20 - Modélisation TEMPO des débits du Rival à Brézins.

3.3. APPORTS DES MODÉLISATIONS TEMPO

3.3.1. Analyse des réponses impulsionnelles

L'analyse des durées des réponses impulsionnelles permet de mieux appréhender le comportement de la nappe alluviale au droit des différents piézomètres : en règle générale, les piézomètres montrent des temps de réponse croissants à une impulsion de recharge efficace, de l'amont vers l'aval, à l'exception du point de Bougé-Chambalud (tabl. 2).

La réponse plus courte de la nappe au niveau du piézomètre de Bougé-Chambalud peut être interprétée par la position excentrée de cet ouvrage par rapport à l'axe principal d'écoulement de la nappe (sa zone de recharge est moins étendue puisqu'elle ne bénéficie pas des apports de l'amont de la nappe alluviale) ainsi que par l'influence de prélèvements saisonniers agricoles sur les niveaux enregistrés sur ce point.

Niveaux piézométriques	Durée des réponses impulsionnelles	
	Rapide	Lente
Nantoin	60 jrs	450 jrs
Saint-Étienne-de-Saint-Geoirs	70 jrs	400 jrs
Bois des Burettes	70 jrs	510 jrs
Suzon	70 jrs	600 jrs
Manthes	90 jrs	640 jrs
Bougé Chambalud	80 jrs	500 jrs
Ile à Manthes (Molasse)	Difficulté à la modélisation (non explicable uniquement par les données pluviométriques)	

Tableau 2 - Durée des réponses impulsionnelles des modélisations TEMPO sur les niveaux piézométriques sur le bassin versant de Bièvre-Valloire.

3.3.2. Simulations

a) Principe des simulations

Une fois le modèle calé et la (ou les) fonction(s) de transfert calculée, la phase de prévision (débits, niveaux) peut être mise en œuvre.

Comme on ignore les pluies efficaces futures de la période de prévision, la méthode utilisée est de type probabiliste. Grâce à un générateur de pluies et d'ETP, TEMPO produit un grand nombre de scénarios climatiques suivant un processus aléatoire reproduisant néanmoins les caractéristiques des séquences climatiques passées (moyenne, saisonnalité...).

Le modèle ayant été calé et la (ou les) fonction(s) de transfert identifiée(s), on peut donc **pour chacun des n scénarios climatiques** faire le calcul de la variable de sortie (débit ou niveau) sur la période de prévision choisie et à un pas de temps défini (par exemple par décade sur 10 ans).

On obtient alors **n scénarios indépendants pour les niveaux ou les débits**. Ceci est illustré par le graphique de l'illustration 21 (avec $n = 5$).

Pour que les fréquences calculées soient significatives, plusieurs centaines de scénarios sont nécessaires.

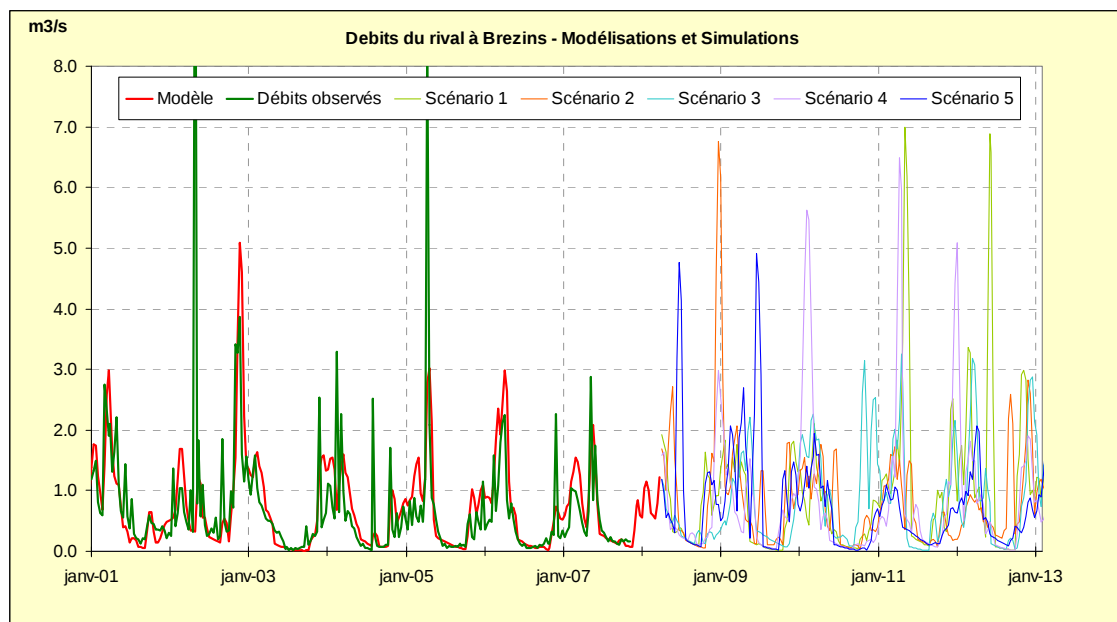


Illustration 21 - Calculs de débits à partir de scénarios climatiques.

Les résultats de toutes les simulations sont ensuite regroupés par intervalle de temps (dans le cas présent, par décennie).

Sur chacun de ces intervalles de temps, les niveaux sont classés par ordre croissant, ce qui revient à construire une distribution cumulée des fréquences (ill. 22) et permet de calculer une fréquence d'occurrence de telle ou telle valeur **dans chaque intervalle de temps** (une fréquence de dépassement ou de non dépassement).

Les valeurs correspondant à ces différentes fréquences sont calculées pas de temps par pas de temps et reportées ensuite sur un graphique (ill. 23) où **les courbes tracées doivent s'interpréter non pas comme représentant des chroniques continues** (c'est-à-dire des courbes d'évolution possibles avec une certaine fréquence d'apparition) **mais comme des suites de valeurs correspondant chacune à une certaine fréquence d'apparition sur l'intervalle de temps considéré**. TEMPO propose sept fréquences particulières réparties en deux groupes correspondant aux années dites « humides » et aux années dites « sèches » de part et d'autre d'une valeur « médiane » correspondant à la valeur qui divise la « population » statistique sur l'intervalle de temps considéré en deux parties d'effectifs égaux ; la valeur médiane est dépassée (ou non dépassée) une année sur 2.

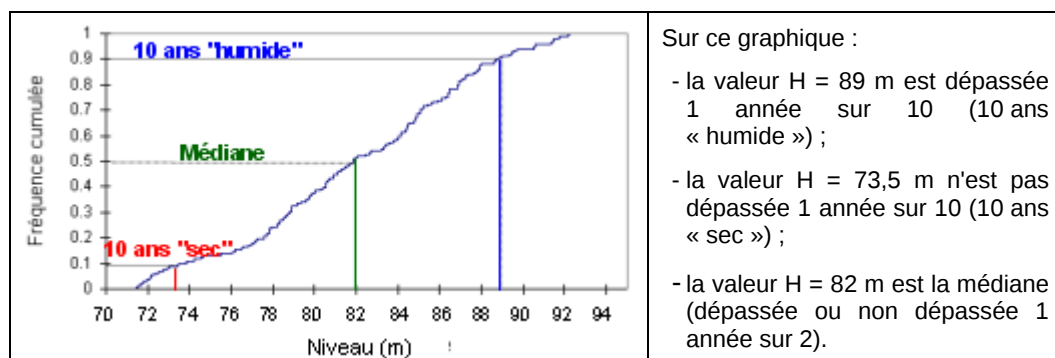


Illustration 22 - Courbe de fréquence cumulée.

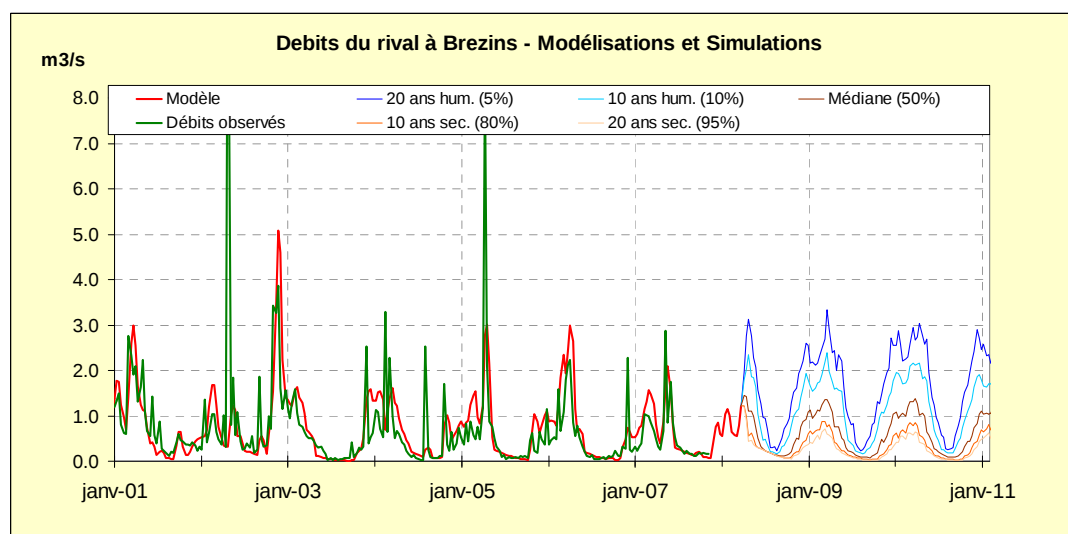


Illustration 23 - Exemple de prévision fournie par TEMPO dans un environnement Excel.

Les « 20 ans humides » s'interprètent comme la valeur de niveau ou de débit **dépassée** 1 année sur 20.
 Les « 20 ans secs » s'interprètent comme la valeur de niveau ou de niveau que n'est **pas dépassée** 1 année sur 20.
 De même pour les autres fréquences.

b) Résultats des simulations

Les figures suivantes (ill. 24 à 26) représentent les résultats statistiques obtenus après la génération de 200 scénarios climatiques ayant donné 200 scénarios de variation de hauteur de nappe et de débit.

Ces résultats permettent d'appréhender un niveau de nappe moyen (correspondant à des conditions climatiques moyennes), ainsi qu'un spectre des valeurs possibles dans le cas d'épisodes pluvieux fortement marqués.

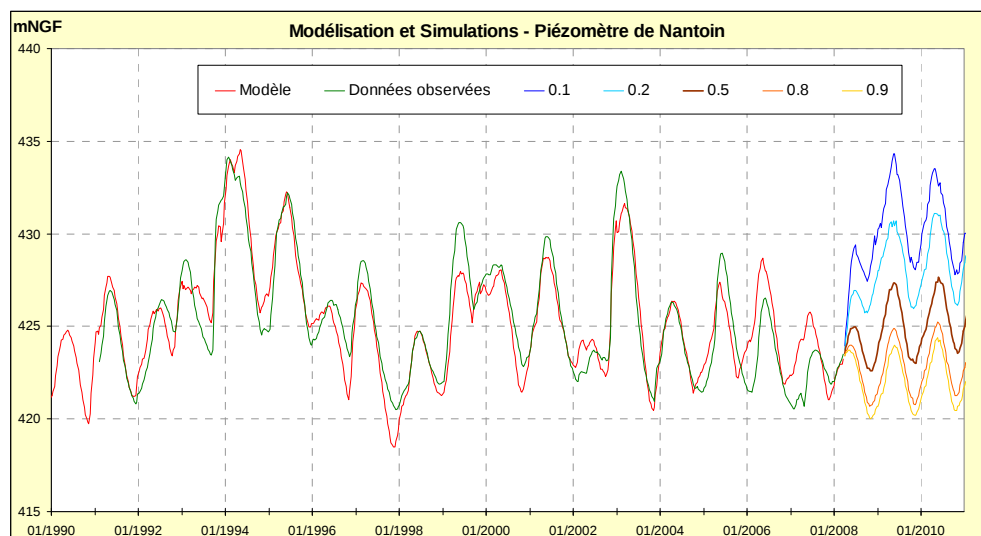


Illustration 24 - Modélisation et simulations TEMPO du niveau piézométrique de Nantoin.

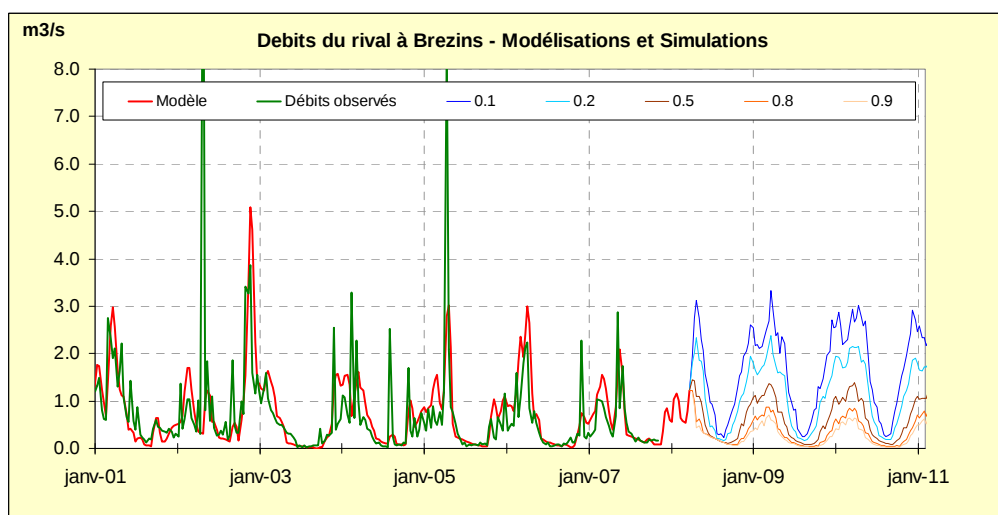


Illustration 25 - Modélisation et simulations TEMPO des débits du Rival à Brézins.

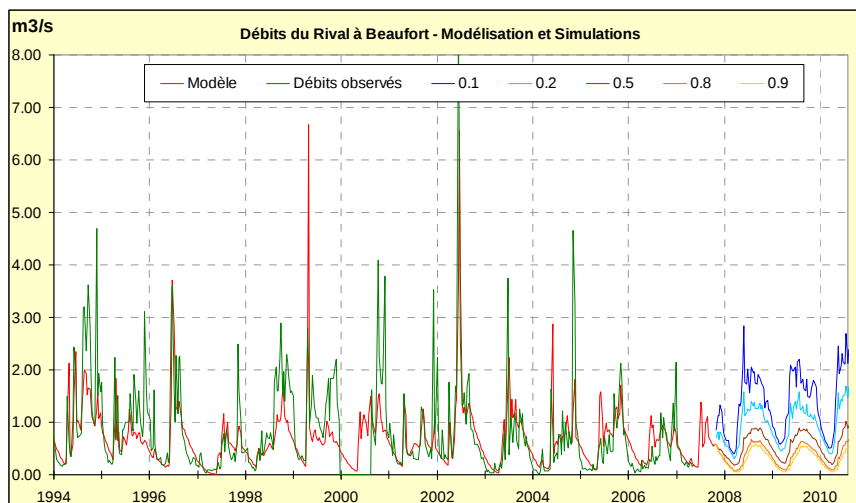


Illustration 26 - Modélisation et simulations TEMPO des débits du Rival à Beaufort.

3.3.3. Synthèse

L'intérêt de ce modèle de type boîte noire est donc double :

Par l'analyse des réponses impulsionnelles des chroniques piézométriques, on perçoit mieux les temps de recharge et de réponse de la nappe aux épisodes climatiques.

Il permet de retranscrire et de simuler des chroniques de niveaux et de débits dans le cas d'un sous-bassin où la nappe se trouve déconnectée du réseau hydrographique et ne soutient pas le cours d'eau et où les débits ne sont constitués que des ruissellements surfaciques et sub-surfaciques.

4. Élaboration de règles de gestion volumique

4.1. RAPPEL ET COMPLÉMENTS DU BILAN DES PRÉLÈVEMENTS EN NAPPE ET EN RIVIÈRE À L'INTÉRIEUR DES LIMITES DU BASSIN VERSANT DE BIÈVRE-VALLOIRE

La communication par la DDAF26 (juillet 2008) de données concernant les volumes des prélèvements agricoles déclarés pour les années 2006 et 2007, permet d'apporter des éléments complémentaires à l'évaluation des prélèvements agricoles sur le bassin Bièvre-Liers-Valloire réalisé dans le paragraphe 7.2.2. du rapport de phase 1 (BRGM/RP-56117-FR) de cette étude.

a) Ouvrages considérés

En raison de l'absence de références géographiques précises pour de nombreux forages (géoréférencement absent ou attribué aux coordonnées géographiques du centroïde de la commune - § 7.2.1. du rapport de phase 1), tous les ouvrages situés dans l'emprise géographique des communes du SAGE Bièvre-Liers-Valloire sont pris en compte pour évaluer les volumes agricoles prélevés. Ce choix se justifie par la volonté de réaliser la comparaison entre deux sources de données (volumes bancarisés par l'AERM&C et les DDAF) pour des domaines géographiques strictement équivalents. Cependant, lors de la réalisation du bilan hydraulique sur le bassin Bièvre-Liers-Valloire, il n'a été retenu que les prélèvements agricoles bancarisés par l'AERM&C et restreintes au périmètre strict du bassin versant.

Le Tableau 3 récapitule le nombre de points de prélèvements agricoles, localisés sur les communes du SAGE et bancarisés dans les différentes sources de données. Les écarts entre les données de l'AERM&C et des DDAF s'expliquent par des regroupements des captages dans les catalogues des redevances. Ce tableau est une reprise du tableau 11 du rapport phase 1, page 65.

		AERM&C (année 2006)		DDAF 38 (déclaration année 2006)	DDAF 26 (autorisation année 2008)
		Dept 38	Dept 26		
Eaux souterraines	Points géoréférencés	94	14	310	262
	Points non géoréférencés (ou centroïd de la commune)	125	138	6	12
	Total	219	152	316	274
Eaux superficielles	Points géoréférencés	25	2	133	108
	Points non géoréférencés (ou centroïd de la commune)	19	72	3	29
	Total	44	74	136	137
Eaux souterraines et superficielles	Points géoréférencés	119	16	443	370
	Points non géoréférencés (ou centroïd de la commune)	144	210	9	41
	Total	263	226	452	411

Tableau 3 - Tableau de synthèse du nombre de points de prélèvements agricoles localisés sur les communes du SAGE et bancarisés dans les différentes sources de données (reprise du tableau 11 du rapport phase 1, p. 65).

b) Différenciation des niveaux captés

Concernant l'évaluation des volumes prélevés sur le bassin versant Bièvre-Liers-Valloire, la distinction n'est pas faite entre les prélèvements réalisés sur l'aquifère des alluvions et les prélèvements réalisés sur l'aquifère de la molasse. Les raisons de cette absence de distinction sont tout d'abord que l'attribution des prélèvements à l'un ou l'autre aquifère de manière univoque reste mal documentée pour les ouvrages considérés (coupes géologique et/ou technique absentes, crépine captant les deux niveaux aquifères à la fois, volume d'eau prélevé pour un compteur d'eau servant pour plusieurs ouvrages - § 7.2.1. du rapport de phase 1). De plus, les relations hydrauliques entre les niveaux aquifères des alluvions et de la molasse restent mal contraintes. Or il existe vraisemblablement une continuité hydraulique entre ces deux niveaux aquifères, ce qui rend discutable, par voie de conséquence, la différenciation des eaux souterraines et des volumes prélevés provenant respectivement de chaque niveau aquifère.

c) Département de la Drôme. Volumes déclarés 2006 et 2007 et autorisés 2008

Les données fournies par la DDAF26 concernant les **volumes de prélèvements agricoles déclarés** pour les années 2006 et 2007, sont comparées sur le tableau 4, par commune, avec les volumes autorisés pour l'année 2008. Les données de volume réellement consommé et déclaré par les bénéficiaires des autorisations de prélèvement sur le bassin Bièvre-Liers-Valloire sont partiellement disponibles, avec un pourcentage de retour des déclarations de prélèvement de seulement 18 % pour l'année 2006 et de 86 % pour l'année 2007. Les volumes de prélèvements agricoles déclarés reportés dans ce tableau 4 comptabilisent les volumes déclarés pour toutes les pompes ou unités de prélèvement en fonctionnement sur le bassin Bièvre-Liers-Valloire (au nombre total de 375, 258 pour les eaux souterraines et 117 pour les eaux

superficielles). Le nombre de pompes ou unités de prélèvement en fonctionnement est inférieur au nombre de points de prélèvements agricoles soumis à autorisation pour l'année 2008 d'après la DDAF 26 (tabl. 3). En effet, les mêmes pompes ou unités de prélèvement peuvent servir pour plusieurs points de prélèvement. On rappelle que dans certains cas les capacités de pompage peuvent être supérieures aux volumes autorisés.

			Données DDAF 26 Volumes autorisés pour l'année 2008			Données DDAF 26 (année 2007) issues des déclarations des irrigants			Données DDAF 26 (année 2006) issues des déclarations des irrigants		
			Volume prélevé sur les communes du SAGE situées dans la Drôme et impactées par les pompages agricoles en milliers de m3								
	COMMUNE	CODE COMMUNE	ESO&ESU	ESO	ESU	ESO&ESU	ESO	ESU	ESO&ESU	ESO	ESU
Drôme	ALBON	26 002	372,0	138,6	233,4	102,8	59,1	43,7	57,9	23,7	34,2
	ANDANCETTE	26 009	114,0	114,0	0,0	97,0	97,0	0,0	48,8	48,8	0,0
	ANNEYRON	26 010	1784,9	1705,9	79,1	450,9	442,0	8,9	213,4	213,4	0,0
	BEAUSEMBLANT	26 041	16,0	14,6	1,4	11,3	11,3	0,0	0,0	0,0	0,0
	CHATEAUNEUF-DE-GALAURE	26 083	1079,5	420,5	659,0	176,8	99,8	77,1	131,4	32,5	98,9
	EPINOUE	26 118	975,3	944,9	30,4	395,6	395,6	0,0	93,8	93,1	0,7
	HAUTERIVES	26 148	530,7	163,5	367,1	20,3	18,4	1,9	39,4	21,5	17,9
	LAPEYROUSE-MORNAY	26 155	1023,4	1015,8	7,6	253,7	253,7	0,0	40,2	40,2	0,0
	LAVEYRON	26 160	103,9	103,9	0,0	15,8	15,8	0,0	0,0	0,0	0,0
	LE GRAND-SERRE	26 143	209,6	1,0	208,6	1,9	0,0	1,9	13,9	0,0	13,9
	LENS-LESTANG	26 162	237,2	198,5	38,7	29,2	25,8	3,4	2,7	0,0	2,7
	MANTHES	26 172	1067,1	1018,1	49,0	351,1	345,7	5,4	286,5	286,5	0,0
	MORAS-EN-VALLOIRE	26 213	411,5	304,0	107,6	70,1	56,9	13,2	80,9	80,8	0,0
	SAINT-RAMBERT-D'ALBON	26 325	327,7	318,9	8,7	96,6	96,6	0,0	30,5	30,5	0,0
	SAINT-SORLIN-EN-VALLOIRE	26 330	1085,3	842,3	243,1	281,0	235,5	45,5	168,8	138,8	30,0
Total			9 338,2	7 304,5	2 033,7	2 354,0	2 153,0	201,0	1 208,2	1 010,0	198,3

Tableau 4 - Comparaison des volumes déclarés pour les années 2006 et 2007 et les volumes autorisés pour l'année 2008 bancarisés par la DDAF26 sur les quinze communes du SAGE situées dans la Drôme et impactées par les pompages agricoles (ESO pour eaux souterraines, ESU pour eaux de surface).

d) Comparaison données AERM&C DDAF 26

Le tableau 5 présente la comparaison par commune du SAGE Bièvre-Liers-Valloire (en considérant l'intégralité de la surface de chaque commune) des volumes bancarisés par l'AERM&C et par la DDAF 26.

			Données AERM&C (année 2005) redevances		Données DDAF 26 (année 2007) issues des déclarations des irrigants			
			Volume prélevé sur les communes du SAGE situées dans la Drôme et impactées par les pompages agricoles en milliers de m3					
	COMMUNE	CODE COMMUNE	Eaux souterraines et superficielles	Eaux souterraines	Eaux superficielles	Eaux souterraines et superficielles	Eaux souterraines	Eaux superficielles
Drôme	ALBON	26 002	194,0	161,6	32,4	102,8	59,1	43,7
	ANDANCETTE	26 009	13,1	13,1		97,0	97,0	0,0
	ANNEYRON	26 010	1 519,1	1 506,0	13,1	450,9	442,0	8,9
	BEAUSEMBLANT	26 041	153,0	153,0		11,3	11,3	0,0
	CHATEAUNEUF-DE-GALAURE	26 083	311,8	114,2	197,6	176,8	99,8	77,1
	EPINOUE	26 118	571,1	567,4	3,7	395,6	395,6	0,0
	HAUTERIVES	26 148	61,8	52,5	9,3	20,3	18,4	1,9
	LAPEYROUSE-MORNAY	26 155	547,5	547,5		253,7	253,7	0,0
	LAVEYRON	26 160	30,2	30,2		15,8	15,8	0,0
	LE GRAND-SERRE	26 143	9,6		9,6	1,9	0,0	1,9
	LENS-LESTANG	26 162	54,7	53,7	1,0	29,2	25,8	3,4
	MANTHES	26 172	1 047,8	989,3	58,5	351,1	345,7	5,4
	MORAS-EN-VALLOIRE	26 213	230,0	216,5	13,5	70,1	56,9	13,2
	SAINT-RAMBERT-D'ALBON	26 325	699,5	699,5		96,6	96,6	0,0
	SAINT-SORLIN-EN-VALLOIRE	26 330	660,4	375,6	284,8	281,0	235,5	45,5
Total			6 103,6	5 480,1	623,5	2 354,0	2 153,0	201,0

Tableau 5 - Comparaison entre les volumes bancarisés par l'AERM&C et la DDAF26 sur les quinze communes du SAGE situées dans la Drôme et impactées par les pompages agricoles.

Les données de l'Agence de l'eau donnent un total de **6,1 Mm³** pour l'année 2005 (fourchette basse due au seuil dans le système de redevance) sur les communes du SAGE situées dans la Drôme. Il est à noter que l'année 2005 correspond à une année sèche et permet donc d'accéder à des volumes réalistes (volumes de saison sèche pour des déclarations qui ne prennent pas en compte tous les prélèvements effectifs).

Les données de la DDAF 26 donnent un total de 2,3 Mm³ pour l'année 2007 (année où le retour des déclarations atteint 86 %) sur les communes du SAGE situées dans la Drôme. Ce volume total est bien inférieur à celui calculé à partir des données issues des redevances de l'AERM&C (6,1 Mm³ pour l'année 2005) et le volume total autorisé pour l'année 2008 d'après les données DDAF 26 (9,3 Mm³ pour l'année 2008). L'écart entre les données AERM&C et les données issues des déclarations de prélèvement des irrigants auprès de la DDAF 26 est encore plus important pour l'année 2006 (1,2 Mm³ pour les données DDAF 26) qui n'affiche qu'un pourcentage de retour des déclarations de prélèvement de 18 %.

e) Comparaison données AERM&C et DDAF 38

Pour cela, on se reportera au tableau 13, page 66 du rapport phase 1.

Les données de l'Agence de l'eau donnent un total de 8,2 Mm³ pour l'année 2005 (fourchette basse due au seuil dans le système de redevance) sur les communes du SAGE situées en Isère.

Les données de la DDAF 38 donnent un total de 9,1 Mm³ pour l'année 2006 (fourchette basse due au seuil dans le système de redevance) sur les communes du SAGE situées en Isère.

4.1.1. Compléments sur les prélèvements par type d'usage dans le département de l'Isère

La DDAF 38 a transmis à la DIREN RHA, en septembre 2008, des données synthétiques des prélèvements dans le bassin de Bièvre-Liers-Valloire que l'on présente dans le tableau 6.

	Année 2003			Moyenne annuelle 2001 / 2004		
	Eaux souterraines	Eaux de surface	Total usage	Eaux souterraines	Eaux de surface	Total usage
AEP	8,3	0,0	8,3	7,9	0,0	7,9
Industrie	2,3	0,5	2,9	1,8	0,6	2,4
Agriculture	10,3	0,3	10,6	7,9	0,2	8,1
TOTAL	20,9	0,8	21,7	17,6	0,8	18,4

Tableau 6 - Prélèvements dans la bassin Bièvre-Liers-Valloire (partie Isère).
Source AERM&C pour 2001-2004 - unités exprimées en Mm³/an.

Ces données complètent celles qui sont présentées au tableau 13, page 66 du rapport phase 1.

4.1.2. Compléments sur les prélèvements et rejets des entreprises piscicoles

Après consultation des deux entreprises piscicoles de la Valloire par la DDAF 26, quelques compléments concernant les prélèvements et les rejets des entreprises piscicoles sur le bassin Bièvre-Liers-Valloire ont pu être apportés.

a) Pisciculture FONT ROME (BEAL)

Le débit de fonctionnement de la pisciculture FONT ROME (BEAL) était prélevé initialement et intégralement sur la Grande Veuze. Par la suite, des forages dans la nappe de la Valloire ont été mis en œuvre pour palier aux manques de débits ponctuels sur la Grande Veuze. Il s'agissait au départ d'un dispositif de sécurisation de l'activité lors des périodes de faible débit sur la Veuze. Cependant aujourd'hui les prélèvements sur la nappe sont majoritairement utilisés. Les prélèvements actuels de la pisciculture, le plus souvent en intégralité sur les trois forages à la nappe, totalisent un débit de 500 l/s (soit un volume total de **16 Mm³** par an) pour une production piscicole totale de 500 à 550 t/an. Ce besoin en eau est quasi constant au cours de l'année, en effet les bandes de poissons sont en place pour 14 à 16 mois.

La pisciculture a pour projet de remplacer les trois forages existants par un seul forage de capacité 600 l/s (soit un volume total de 19 Mm³ par an). Ce débit correspond au débit nécessaire pour des conditions sécurisées de la production piscicole actuelle. Pour les années à venir, la pisciculture FONT ROME (BEAL) ne prévoit aucune augmentation significative de sa production piscicole.

b) Pisciculture FAURE (sources de Manthes)

Dans les années 1960, la pisciculture FAURE était uniquement alimentée en eau par les sources de la petite Veuze (300 à 400 l/s). En 1975 et 1982, deux forages ont été réalisés pour sécuriser la production. Actuellement, le débit des sources de Manthes, dirigé vers les bassins piscicoles, est la plupart du temps insuffisant pour garantir l'alimentation de la pisciculture. Ainsi un débit supplémentaire de 220 l/s (800 m³/h) est prélevé sur deux forages réalisés dans la nappe de la Valloire. Le débit de ces forages n'est pas dirigé directement sur les bassins, ce débit transite au préalable dans la zone de résurgence des sources de Manthes avant de rejoindre la pisciculture. À partir du suivi des débits d'entrée dans les bassins, le pisciculteur estime que sur les 220 l/s prélevés en nappe, seuls 140 l/s parviennent au final dans les bassins (80 l/s se ré-infiltreraient dans la nappe). Pour une production piscicole totale de 100 t/an, les prélèvements actuels de la pisciculture totalisent un volume de **7 Mm³** par an sur la base d'un débit de 220 l/s prélevé sur les deux forages et de **4,4 Mm³** par an sur la base d'un débit de 140 l/s qui parviennent au final dans les bassins.

c) Rappel sur les prélèvements de la pisciculture Murgat à Beaurepaire (département de l'Isère)

Il est indiqué, dans le rapport phase 1 de l'étude, que les besoins en eau de la pisciculture Murgat s'élèvent à 500 l/s, soit 16 Mm³/an. Les prélèvements en nappe estimés sont compris entre 7 et 15 Mm³/an.

Le total des prélèvements en nappe, par les trois piscicultures, s'élève à environ 37 Mm³/an (en hypothèse haute). Pour une meilleure connaissance des bilans volumiques dans le bassin, on recommande un suivi exact des volumes prélevés par les piscicultures.

4.1.3. Bilan général annuel et mensuel des prélèvements dans le bassin de Bièvre-Liers-Valloire

Par soucis d'homogénéité -l'ensemble du bassin est sur un territoire relevant de deux DDAF-, seules les données issues des redevances de l'AERM&C ont été prises en compte pour calculer les prélèvements moyens agricoles. Le bilan hydraulique a été fait à partir des données de l'AERM&C restreintes au périmètre strict du bassin versant sur une moyenne couvrant les années 2001 à 2006. Les tableaux 7 et 8 reprennent les données du rapport phase 1 de l'étude (tabl. 18, p. 87 du rapport BRGM/RP-56117-FR).

Prélèvements par usage et origine de l'eau	Moyenne 2001 - 2006 en Mm ³ (d'après AERM&C)	
	Eaux superficielles	Eaux souterraines
AEP		10,9
Agricole	0,6	13,1
Industrie	0,4	2,3
Prélèvements piscicultures (*)		37,0
TOTAL	1,0	63,3

(*) hypothèse haute

Tableau 7 - Bilan des prélèvements annuels par usage et par origine de l'eau (moyenne 2001-2006 d'après données AERM&C).

Rejets	Mm ³
STEP	2,2
Industriels directs	1,6
Piscicultures	37,0
TOTAL	40,8

Tableau 8 - Bilan des rejets annuels en rivières - Estimation 2004.

On rappelle que si les prélèvements moyens agricoles sont égaux à 13,1 Mm³ par an (moyenne 2001-2006), ils peuvent varier selon les conditions climatiques d'été entre 10 et 18 Mm³ par an (voir illustration 50 du rapport de phase 1). On présente sur l'illustration 27 les volumes moyens annuels prélevés par usage sur la période 2001-2006, et sur l'illustration 28 ces volumes ramenés à des valeurs mensuelles où les prélèvements agricoles sont concentrés sur les mois de juin, juillet et août. Les prélèvements vont s'élever à un peu plus de 8 Mm³ par mois en été (mois de juin, juillet et août) pour un peu plus de 4 Mm³ les autres mois de l'année. Les rejets en rivière correspondent à peu près aux prélèvements des piscicultures, soit un peu plus de 3,5 Mm³ par mois toute l'année. Ces valeurs mensuelles sont indicatives, dans la mesure où on ne connaît pas exactement les pratiques des usagers tout au long de l'année.

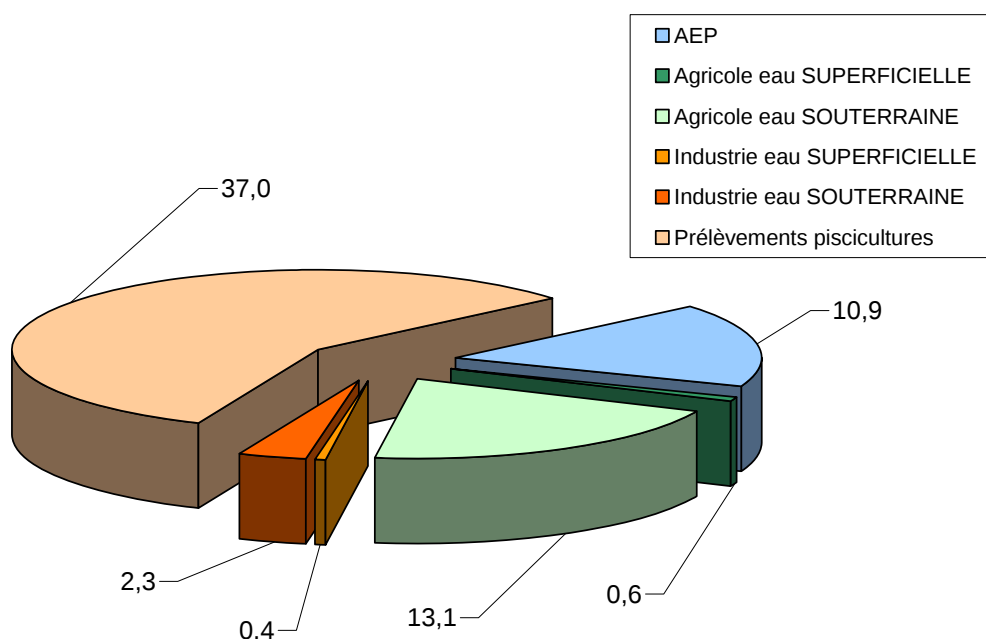


Illustration 27 - Bilan des prélèvements annuels par usage et par origine de l'eau (moyenne 2001-2006 d'après données AERM&C).

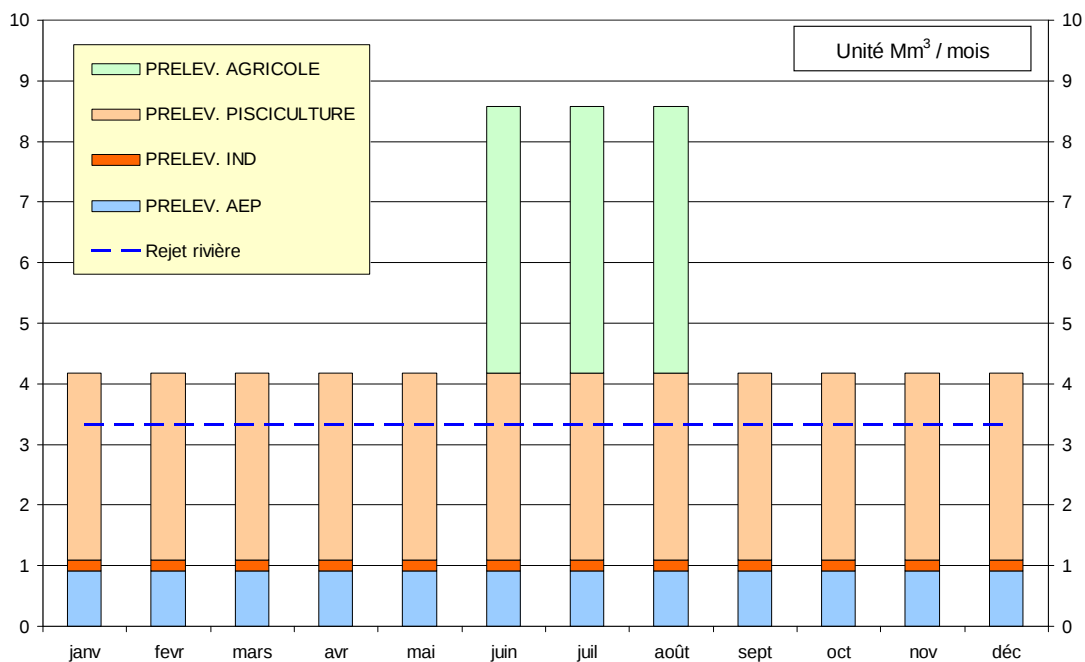


Illustration 28 - Bilan des prélèvements mensuels par usage et par origine de l'eau (moyenne 2001-2006 d'après données AERM&C).

On présente sur l'illustration 29 les bilans entrée-sortie dans les bassins amont et aval de Bièvre-Valloire, hors secteur du Bancel, mettant en évidence la part respective des alimentations par les pluies efficaces, des écoulements souterrains, des prélèvements (prélèvements des piscicultures et des autres usages), des rejets et des débits des rivières (naturels et avec la contribution des rejets). On présente un bilan pour une année de recharge moyenne (357 mm en 2003-2004), et un bilan pour une année avec 40 % de réduction des apports hivernaux, soit 214 mm.

Ces deux schémas reprennent le bilan présenté sur la figure 62 et le tableau 19 du rapport de la phase 1 de l'étude. Pour une année hydrologique type 2004 (année calendaire 2003-2004), on arrive à un équilibre des flux. Avec une réduction de 40 % des apports hivernaux (60 % de la recharge moyenne), on arrive à un déséquilibre des flux de 24 Mm³/an qui va provoquer une baisse des niveaux de nappe sur une année hydrologique. Cette situation, avec un déficit d'au moins 40 % des pluies efficaces, a été rencontrée sept fois entre 1974 et 2008, soit plus d'une année sur cinq. Il s'agit des années suivantes : 1978-1979, 1981-1982, 1983-1984, 1989-1990, 1997-1998, 2001-2002 et 2007-2008 (voir ill. 30). Heureusement, les six années fortement déficitaires (à l'exception de l'hiver 2007-2008) ont toutes été suivies d'un hiver au moins normalement humide.

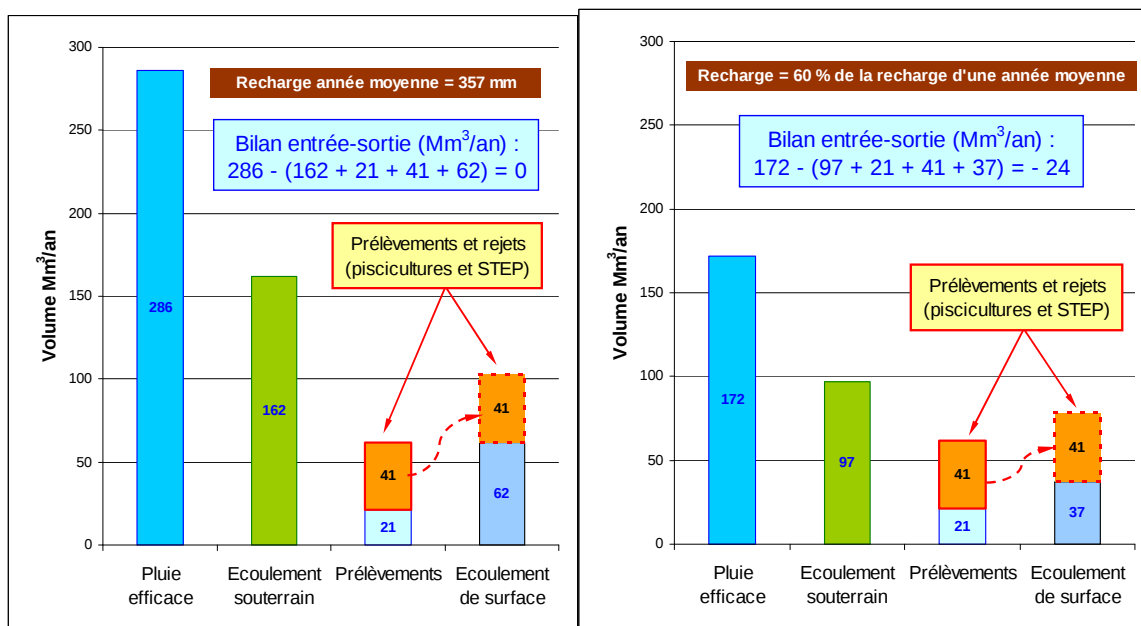


Illustration 29 - Bilan entrée-sortie dans le bassin de Bièvre-Valloire pour une année hydrologique moyenne type 2004 (année calendaire 2003-2004) et une année avec 40 % de réduction des apports hivernaux.

On rappelle que, si les rejets des piscicultures et des STEP permettent un soutien d'étiage des cours d'eau en été, sur la partie aval du bassin versant, la qualité de ces eaux de rejet n'est pas de même nature que celles des eaux souterraines pures.

4.2. RÉPARTITION DES FLUX ENTRE L'AQUIFÈRE DES ALLUVIONS ET L'AQUIFÈRE DE LA MOLASSE MIOCÈNE

4.2.1. Alimentation des alluvions fluvio-glaciaires par les sables molassiques

Les alluvions fluvio-glaciaires sont alimentées d'une part par les pluies efficaces qui tombent dans leurs limites d'extension, ainsi que par les venues d'eau provenant des sables molassiques. Ces venues d'eau secondaires arrivent dans les alluvions soit latéralement, principalement par ruissellement, soit par drainance verticale. On présente ce mécanisme d'écoulement sur une coupe nord-sud qui passe par le piézomètre de l'Ile à Manthes.

L'illustration 30 montre l'emplacement du profil nord-sud dans le bassin de Bièvre-Valloire. L'illustration 31 montre la coupe hydrogéologique, le long de ce profil, sur laquelle l'épaisseur des alluvions est de l'ordre de 25 m (épaisseur figurant sur le log validé du piézomètre de l'Ile à Manthes - voir ann. 5). L'illustration 32 montre les sens d'écoulement dans les sables molassiques, alimentés par les pluies efficaces. Une partie de cette eau va ruisseler, puis s'infiltrer dans les alluvions. Le reste va s'infiltrer dans les formations des sables pour s'écouler au centre de la vallée, qui constitue un

axe de drainage, pour ensuite remonter dans les alluvions. Celles-ci se trouvent alimentées d'une part directement par les pluies efficaces, d'autre part par de l'eau venant des formations des sables molassiques.

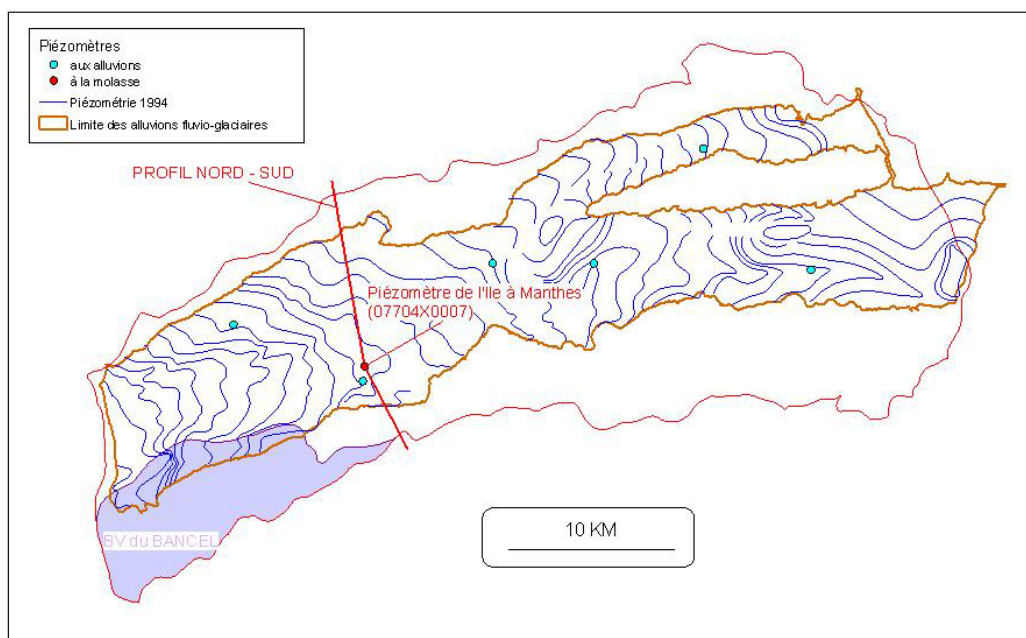


Illustration 30 - Bassin de Bièvre-Valloire, limites d'extension des alluvions, courbes isopièzes 1994, position des piézomètres et localisation du profil nord-sud.

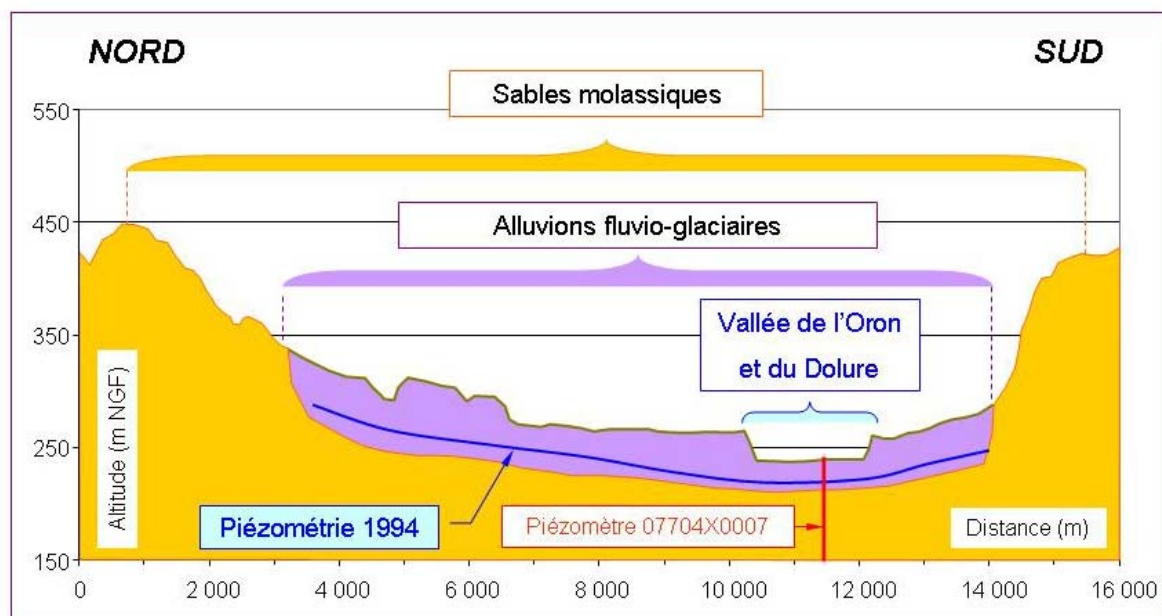


Illustration 31 - Coupe hydrogéologique nord-sud. Position de la piézométrie 1994.

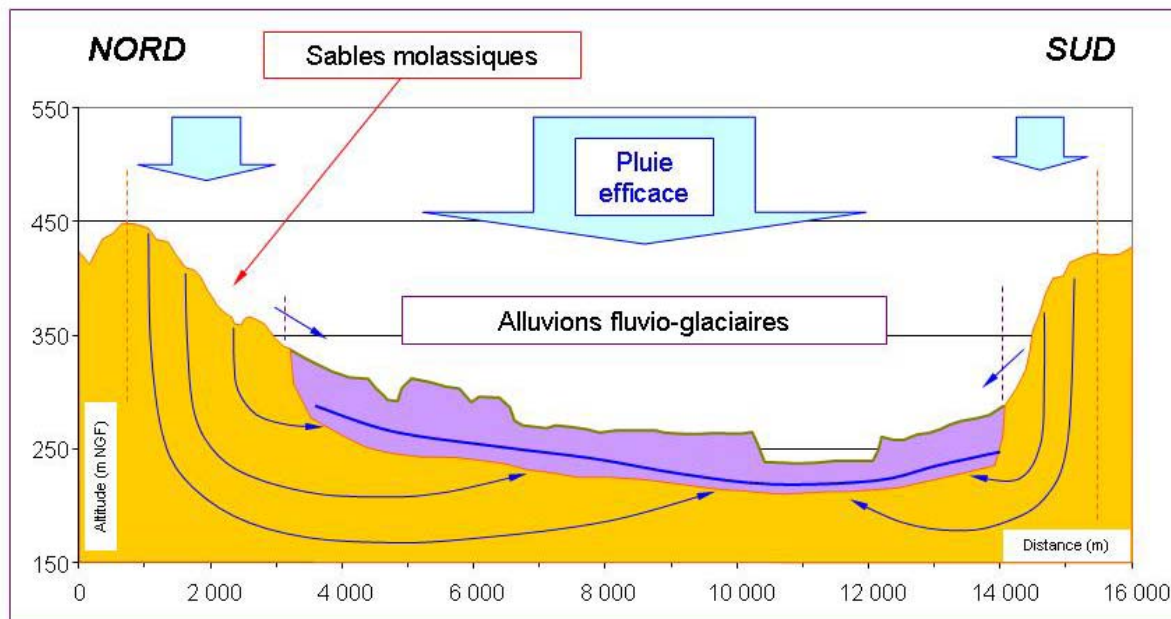


Illustration 32 - Coupe hydrogéologique nord-sud. Schéma proposé des écoulements et des échanges entre les sables molassiques et les alluvions fluvio-glaciaires.

4.2.2. Bilan de flux d'échange entre ces deux formations géologiques

Le rapport ANTEA A03437 - SDE/RHA de juillet 1996 présente les résultats de la modélisation de la nappe des alluvions fluvio-glaciaires. Il a été retenu, dans cette modélisation, une hypothèse d'alimentation des alluvions par la nappe molassique en imposant un débit imposé sur les limites latérales de la couche des alluvions. Le résultat des différents calages donne la répartition des apports aux limites suivantes :

- sur la Valloire : 6 800 m³/h ;
- sur la Bièvre : 1 500 m³/h ;
- sur le Liers : 2 100 m³/h.

Le débit total d'alimentation aux limites s'élève à 10 400 m³/h, soit 91 Mm³/an.

4.2.3. Comparaison des résultats de l'étude ANTEA de 1996 avec les hypothèses retenues dans notre étude

Le bilan des flux, présenté dans notre étude, prend en compte la totalité des volumes de pluie efficace tombés sur les 875 km² du bassin de Bièvre-Valloire. Le bilan présenté dans le tableau 19 du rapport de phase 1 de l'étude ne prend en compte que la partie bassin amont et bassin aval, en excluant le bassin du Bancel, peu concerné par les alluvions fluvio-glaciaires. Sur la partie bassin amont et bassin aval, la superficie des alluvions représente 477 km², soit 57 % de la superficie totale bassin amont et bassin aval, le reste (43 %) correspond aux affleurements des sables

molassiques. Ainsi, il est possible de répartir les alimentations moyennes annuelles par les pluies efficaces entre les alluvions et les sables molassiques :

- volume des pluies efficaces (total bassins amont et aval - moyenne 2004) : 286 Mm³ (tableau 19 du rapport de phase 1 de l'étude) ;
- alimentation directe des alluvions : $0,57 \times 286 = 163 \text{ Mm}^3$;
- alimentation des sables molassiques : $0,43 \times 286 = 123 \text{ Mm}^3$.

L'aquifère des alluvions serait alimenté directement par les pluies efficaces à hauteur de 163 Mm³ par an, et à hauteur de 123 Mm³ par an par des ruissellements, des venues d'eau provenant de nappes isolées ou perchées non complètement identifiées et des remontées de nappe provenant des sables molassiques sous-jacents.

Les apports calculés dans notre étude sont proches de ceux calculés dans la modélisation ANTEA : 123 Mm³/an contre 91 Mm³/an. La modélisation ANTEA n'évalue pas les apports provenant des remontées de nappe. Le peu d'information dont nous disposons sur les échanges entre ces deux niveaux aquifères ne permet pas de préciser d'avantage les volumes échangés.

Les deux approches proposent un volume d'apport par les sables molassiques aux alluvions de l'ordre de 100 Mm³/an en moyenne.

4.3. RAPPEL DU RÉGIME DES PLUIES EFFICACES D'HIVER ET DES PLUIES D'ÉTÉ SUR LE BASSIN BIÈVRE-VALLOIRE DEPUIS 1974

L'alimentation en eau de la nappe du bassin Bièvre-Valloire est assurée par les pluies efficaces d'hiver. Sur l'illustration 33, sont présentées les hauteurs des pluies efficaces calculées sur les années hydrologiques (de septembre à août de l'année suivante) à la station de Météo-France de Grenoble - Saint-Geoirs sur la période 1974-2008.

La lame d'eau moyenne des pluies efficaces sur la période 1974-2007 s'élève à 357,1 mm (la dernière année, 2008, n'est pas utilisée dans le calcul de cette moyenne). Entre 1974 et 2008, on compte au total cinq hivers secs où les pluies efficaces ont été inférieures à 200 mm/an. La fréquence des hivers secs a augmenté depuis le début de cette série de 34 ans. En effet, on compte deux hivers secs entre 1974 et 1994 (soit 1 tous les 10 ans), et trois hivers secs entre 1995 et 2008 (soit plus de 1 tous les 5 ans). La fréquence des hivers secs a doublé au cours de ces 14 dernières années par rapport aux 20 années précédentes.

De même que le nombre d'hivers secs augmente, le nombre d'hivers fortement humides diminue. Entre 1974 et 1994, on compte quatre hivers fortement humides avec plus de 600 mm/an (soit 1 tous les 5 ans), et aucun depuis 1995 (0 en 14 ans).

On constate, depuis l'hiver 2003-2004, une diminution progressive des pluies efficaces, successivement 346, 273, 249, 227, 139 mm/an (moyenne de 357,1 mm/an). Entre 2004 et 2008, c'est la première fois que l'on constate cinq années successives inférieures à la moyenne.

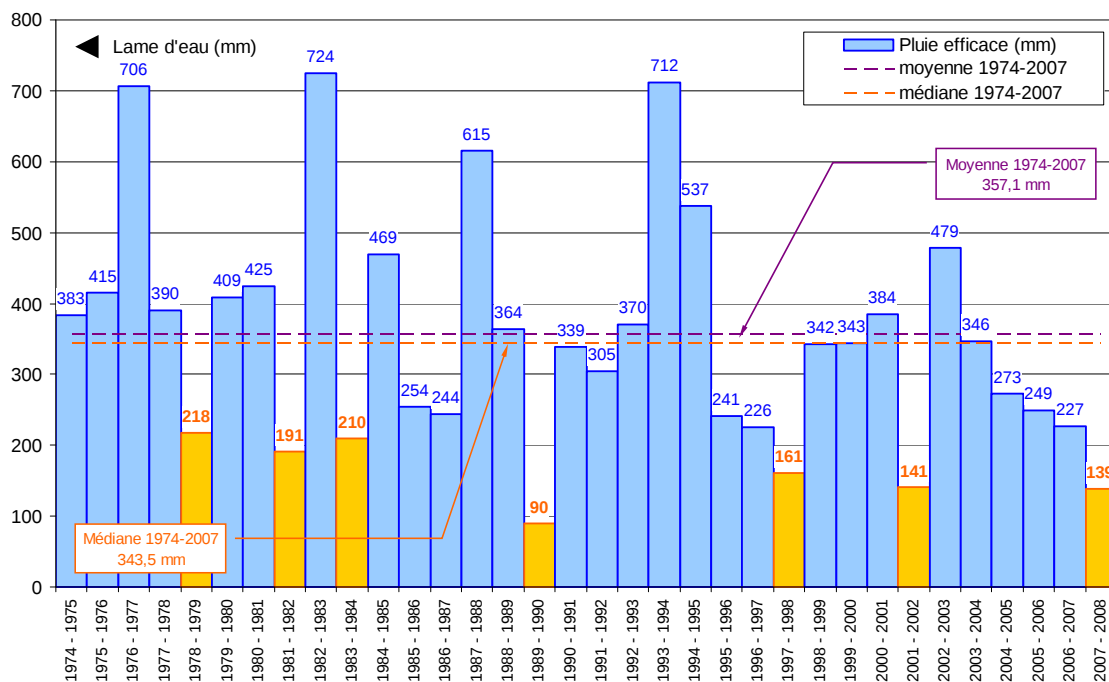


Illustration 33 - Pluies efficaces calculées à la station de Grenoble - Saint-Geoirs (données Météo-France - période 1974-2008).

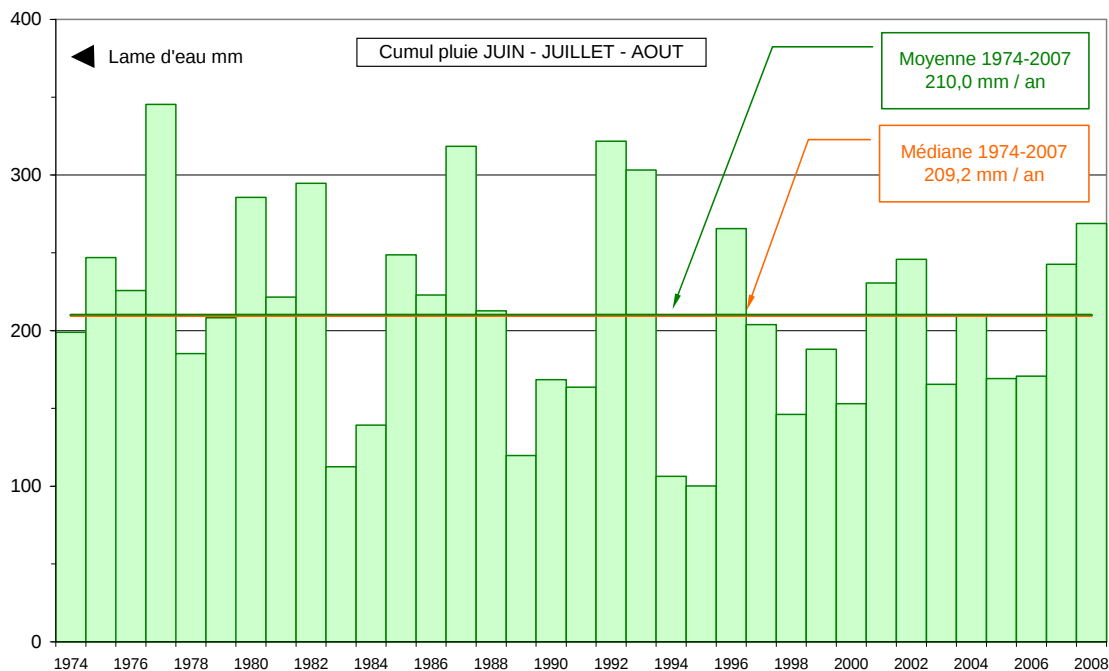


Illustration 34 - Pluies d'été - Cumul des précipitations des mois de juin, juillet et août (données Météo-France - période 1974-2008).

Cette diminution des précipitations efficaces depuis 34 ans, qui s'est accentuée ces cinq dernières années, est à l'origine de la baisse des niveaux piézométriques dans le bassin Bièvre-Valloire.

La valeur médiane des précipitations efficaces (hauteur de pluie efficace dépassée une année sur deux sur la période 1974-2007) est égale à 343,5 mm. Cette valeur est proche de la moyenne.

On présente sur l'illustration 34 les hauteurs des pluies d'été, cumul des pluies des mois de juin, juillet et août, calculées à la station de Météo-France de Grenoble - Saint-Geoirs sur la période 1974-2008.

La lame d'eau moyenne des pluies d'été sur la période 1974-2007 s'élève à 210,0 mm (la dernière année, 2008, n'est pas utilisée dans le calcul de cette moyenne). De même que les pluies efficaces d'hiver, les pluies d'été sont en diminution sur ces 34 dernières années. Entre 1974 et 1993, on observe quatre années où le cumul des pluies sur ces trois mois dépasse 300 mm (4 années en 20 ans), tandis que depuis 1994, on n'a pas observé de cumul de pluie d'été de plus de 265,5 mm (année 1996). Si les étés exceptionnellement humides (300 mm et plus sur trois mois) n'ont pas été revus depuis 1994, les lames d'eau restent toutefois proches de la moyenne 1974-2007. Les deux derniers étés (2007 et 2008) ont connu des valeurs supérieures à cette moyenne.

Si les pluies d'été participent peu à l'alimentation des nappes et aux débits des cours d'eau, elles contribuent à couvrir les besoins en eau des plantes. Leur absence peut générer des situations de sécheresse.

La valeur médiane des pluies d'été (hauteur de pluie d'été dépassée une année sur deux sur la période 1974-2007) est égale à 209,2 mm. Cette valeur est proche de la moyenne.

On présente sur l'illustration 35 un diagramme constitué des hauteurs des pluies d'été en abscisse et des hauteurs des pluies efficaces en ordonnée. Celui-ci permet de différencier les hivers secs et humides, et les étés secs et humides.

Les 34 dernières années sont à peu près régulièrement réparties dans les 4 quarts qui délimitent les hivers secs ou humides autour de la moyenne des pluies efficaces d'hiver (357,1 mm), et les étés secs ou humides autour de la moyenne du cumul des pluies sur trois mois (120 mm). L'année 2004 est une année moyenne, tant du point de vue de la recharge hivernale que des pluies d'été. L'année 2008 (138,6 mm en hiver et 268,8 mm en été) est située dans le quart HIVER SEC - ÉTÉ HUMIDE.

À partir de ces données météorologiques, on distingue les années particulières suivantes :

- 2004 : année moyenne, aussi bien en hiver qu'en été ;
- 1990 et 1998 : deux années critiques (années sèches), aussi bien en hiver qu'en été.

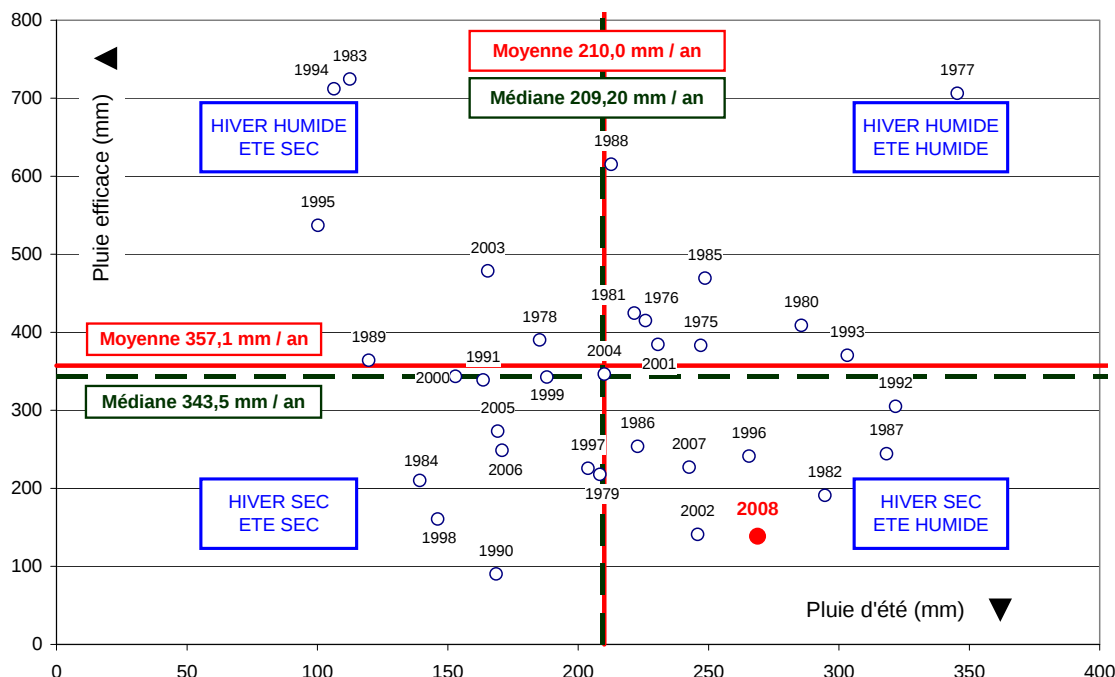


Illustration 35 - Corrélation entre les pluies efficaces d'hiver (assimilées aux pluies efficaces calculées sur une année hydrologique) et les pluies d'été (juin, juillet, août).

Ces informations serviront à définir les années de référence, moyenne ou sèche, pour l'établissement de règles de gestion de la ressource du bassin Bièvre-Valloire présentées dans les chapitres suivants.

4.4. RAPPEL SUR LES RELATIONS PLUIE-NIVEAU ET PLUIE-DÉBIT OBSERVÉES SUR LES STATIONS DU BASSIN DE BIÈVRE-VALLOIRE

4.4.1. Fluctuations interannuelles des niveaux de la nappe des alluvions

On présente sur l'illustration 36 les chroniques du piézomètre du bois des Burettes avec les hauteurs de pluie et de pluie efficace sur la période 1990 à 1998.

Ce graphique montre que la nappe des alluvions possède un cycle annuel de hautes eaux / basses eaux, et un cycle pluriannuel où il est possible d'observer des périodes de 3 à 4 années de hautes eaux suivies de période de basses eaux de plusieurs années. Ce cycle long ne permet cependant pas d'envisager une gestion interannuelle de la ressource en eau souterraine, mais permet une atténuation des effets négatifs de 3 à 4 hivers déficitaires successifs, si ceux-ci ne sont cependant pas trop sévères et s'ils arrivent après une période humide au cours de laquelle les nappes ont pu se recharger.

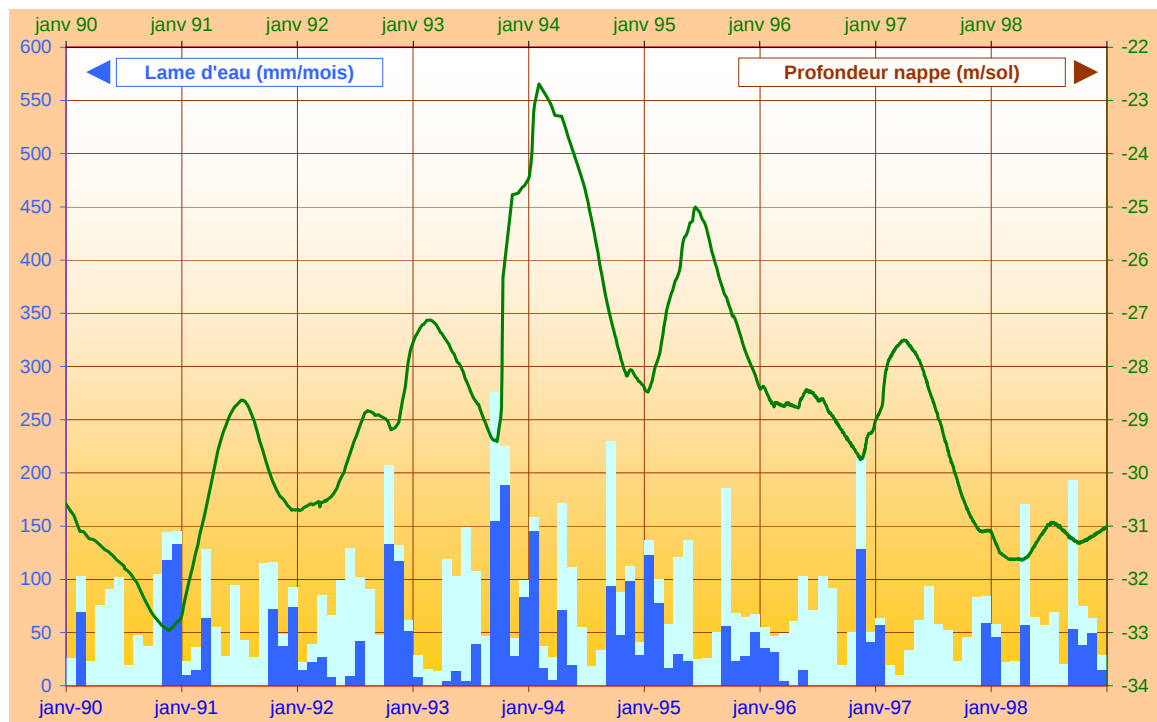


Illustration 36 - Variations des niveaux de la nappe au piézomètre du bois des Burettes, superposition avec les hauteurs des pluies et des pluies efficaces mensuelles.

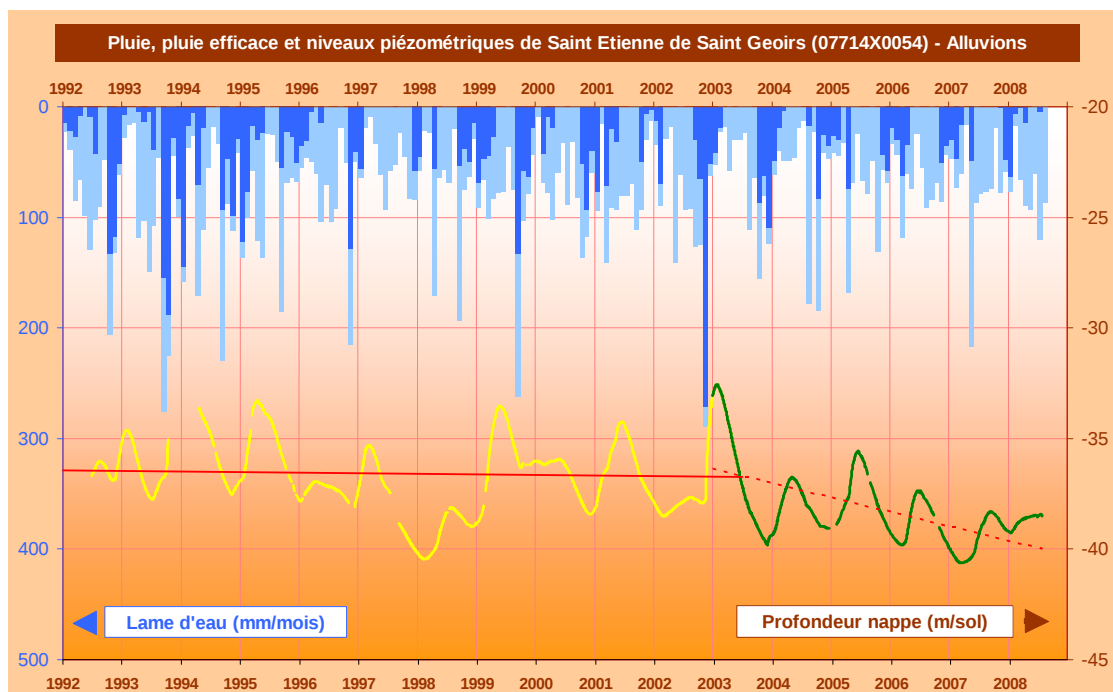


Illustration 37 - Évolution des niveaux piézométriques à Saint-Étienne-de-Saint-Geoirs. Pluies et pluies efficaces mensuelles - Période 1992-2008.

L'évolution des niveaux piézométriques à Saint-Étienne-de-Saint-Geoirs, sur la période 1992-2008, superposée aux hauteurs de pluies et pluies efficaces mensuelles, montrent que sur la période 1992-2003 il y avait stabilisation des niveaux autour d'une moyenne, mais que sur la période 2003-2008 la diminution des pluies efficaces d'hiver sont en grande partie à l'origine de la baisse des niveaux piézométriques observée pour de la nappe (ill. 37).

4.4.2. Comparaison des comportements des différents piézomètres du bassin

On présente sur l'illustration 38 les chroniques des six piézomètres qui captent la nappe des alluvions dans le bassin Bièvre-Liers-Valloire en superposition avec les hauteurs de pluies et pluies efficaces mensuelles sur les années hydrologiques 2002-2003 et 2003-2004.

L'année hydrologique 2003 (année calendaire 2002-2003) est marquée par une forte recharge d'hiver (478,7 mm de pluie efficace pour une moyenne de 357,1 mm), et un été sec (165,4 mm de pluie en été pour une moyenne de 210 mm). L'été 2003 a connu par ailleurs une canicule sévère.

L'année hydrologique 2004 (année calendaire 2003-2004) est considérée comme l'année moyenne de la période 1974-2007 (pluie efficace d'hiver de 346,5 mm, pluie d'été 210 mm).

Les chroniques présentées illustrent les différents comportements de la nappe pour une année moyenne (année hydrologique 2004), précédée d'une année comprenant un hiver humide et un été sec (année hydrologique 2003).

Au cours de cette période de deux ans, les niveaux piézométriques ont été en légère baisse sur l'année hydrologique 2003 (année calendaire 2002-2003), cet effet peut être attribué au fort déficit de pluie de l'été 2003 associé à la période caniculaire. Sur l'année hydrologique 2004 (année calendaire 2003-2004), les niveaux piézométriques ont été les mêmes en début et en fin de période. Sur la deuxième année, la réserve de la nappe n'accuse ni déficit ni gain volumique. Ce résultat montre que l'année hydrologique 2004 peut être bien considérée comme une année moyenne du point de vue des niveaux piézométriques de la nappe. On s'approche, au cours de cette année hydrologique, de ce que pourrait être le régime permanent hydraulique du bassin.

Piezomètre de Nantoin : situé en amont - dans le bassin du Liers - le piézomètre de Nantoin présente les amplitudes de niveaux piézométriques de la nappe les plus fortes, ainsi que les vitesses de réaction les plus rapides (près de 10 m de remontée de nappe entre novembre 2002 et février 2003, suite à une pluie efficace de près de 272 mm observée en novembre 2002). Cette forte et brutale réaction de la nappe, suite aux épisodes de pluie, s'explique par le fait que la partie aquifère du bassin du Liers est relativement étroite, toute la pluie efficace, tombée dans le bassin versant topographique, va se concentrer relativement rapidement dans cette bande étroite et créer une remontée de nappe.

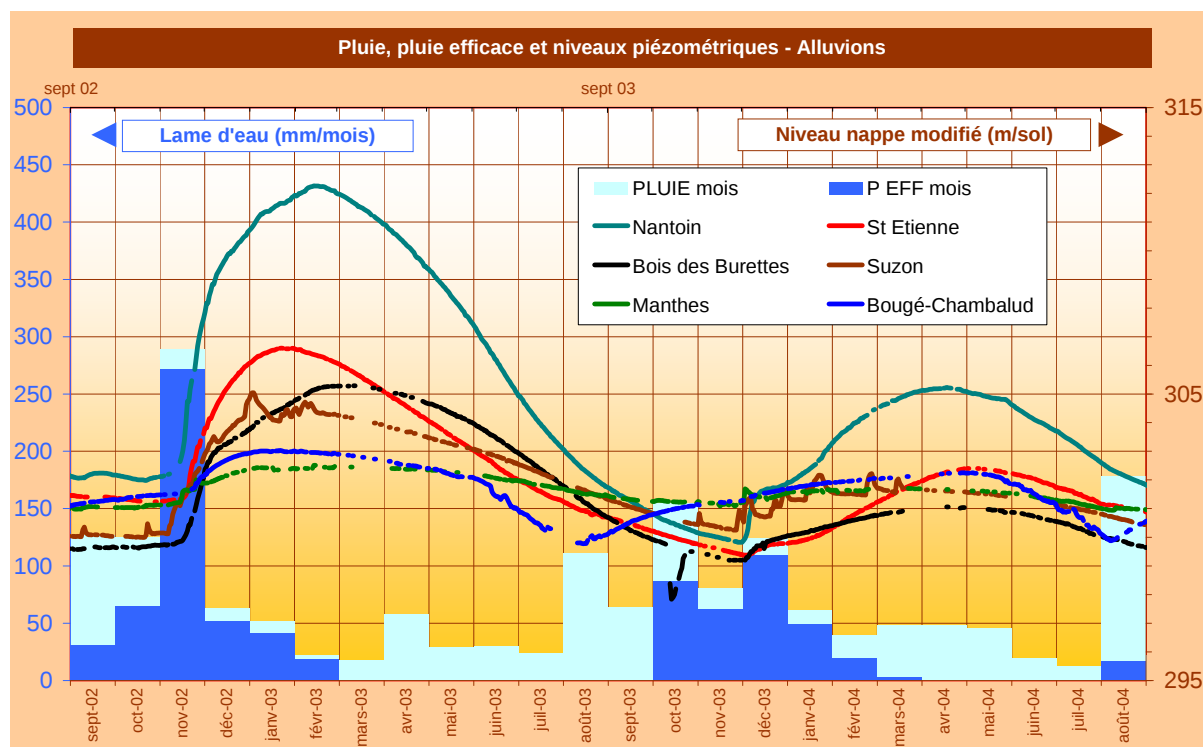


Illustration 38 - Chroniques piézométriques comparées.

Saint-Étienne-de-Saint-Geoirs : situé en amont -dans le bassin de Bièvre- le piézomètre de Saint-Étienne-de-Saint-Geoirs présente, tout comme le piézomètre de Nantoin, des réactions fortes et rapides à la suite d'épisodes de pluie. Cette partie de la nappe est alimentée par les ruissellements qui arrivent du plateau des Chambaran. L'amplitude observée sur ce piézomètre au cours de cette période est de 6 m.

Bois des Burettes : par rapport aux autres piézomètres, le piézomètre du bois des Burettes présente une chronique plus amortie. Ce secteur de la nappe présente la particularité de bénéficier d'une recharge par infiltration des eaux de ruissellement du ruisseau des Eydoches, qui draine la vallée du Liers, et qui sont infiltrées en totalité dans le Bois des Burettes par des aménagements comprenant des bassins et des fossés.

Suzon : long étiage - nappe qui bénéficie des apports de l'amont.

Manthes : le piézomètre de Manthes montre les plus faibles amplitudes de variation de niveaux piézométriques entre les hautes eaux et les basses eaux de la nappe. Ce secteur subit peu les fluctuations saisonnières du bassin. Il bénéficie des apports de l'amont du bassin.

Bougé-Chambalud : situé dans le bassin du Dolon, son bassin versant amont est réduit car il est situé à proximité des limites nord du bassin versant de Bièvre-Valloire sans pouvoir bénéficier des écoulements provenant de l'amont de celui-ci. Ce secteur de la nappe est néanmoins alimenté par les infiltrations provenant du Lambre et du

Dolon situées à proximité. Ce piézomètre réagit assez rapidement aux prélèvements faits en nappe lors des irrigations d'été (voir en juin 2003 la baisse subite des niveaux).

4.4.3. Débit du Rival à Brézins, niveau de la nappe au bois des Burettes

L'illustration 39 montre l'évolution des débits moyens journaliers du Rival à Brézins et des niveaux de la nappe au bois des Burettes pour les années 2002 et 2003.

Les épisodes de pluies efficaces intenses engendrent des crues dans la rivière du Rival. Le cours d'eau est alimenté par les ruissellements provenant du plateau de Chambaran. Un mois après les pics de crue, les débits de la rivière reviennent à des valeurs relativement faibles. En été, en l'absence de précipitations, les débits s'approchent de valeurs nulles. Le Rival, comme les autres cours d'eau du bassin de Bièvre-Valloire, n'est alimenté que par les eaux de ruissellement. La nappe, située plusieurs mètres en-dessous du lit de la rivière, ne participe pas à l'alimentation de la rivière ni à son soutien d'étiage.

Dans le même temps et comparativement, les niveaux de la nappe vont suivre une évolution très amortie. Après les très fortes pluies efficaces du mois de novembre 2002 (271,7 mm), suivies des recharges de décembre à février, les niveaux piézométriques de la nappe vont progressivement remonter jusqu'à un maximum qui sera atteint début mars 2003. Ensuite ces niveaux vont décroître de façon assez lente pour retrouver, à la fin du mois de septembre 2003, les niveaux du mois de novembre 2002. Les chroniques piézométriques du piézomètre du bois des Burettes montrent qu'en 2003, la baisse des niveaux, depuis le maximum atteint au début du mois de mars, ne représentait, au début du mois de juin, que 20 % du total de la recharge d'hiver. À la fin du mois d'août, il restait encore dans la nappe 10 % de la recharge d'hiver. Ces résultats montrent que la nappe présente une capacité de stockage relativement importante. Il faut toutefois avoir à l'esprit que les volumes d'eau stockés dans la nappe ne sont pas forcément proportionnels aux niveaux piézométriques observés.

L'année 2003, marquée par la canicule du mois d'août, a connu une période de très forte recharge au cours de l'hiver précédent 2002-2003 (478,7 mm pour une moyenne de 357,1 mm), et de faibles précipitations au cours du printemps et de l'été (moins de 50 mm par mois pour des normales comprises entre 60 et 100 mm par mois). Ce régime de précipitation s'est traduit par une forte recharge hivernale des nappes et des débits de rivières extrêmement faibles en été (13 jours d'à sec entre fin juillet et la mi-août). Le bon état de remplissage de la nappe a permis, cet été 2003, grâce à des prélèvements en eaux souterraines, de faire face à cette période d'intense sécheresse.

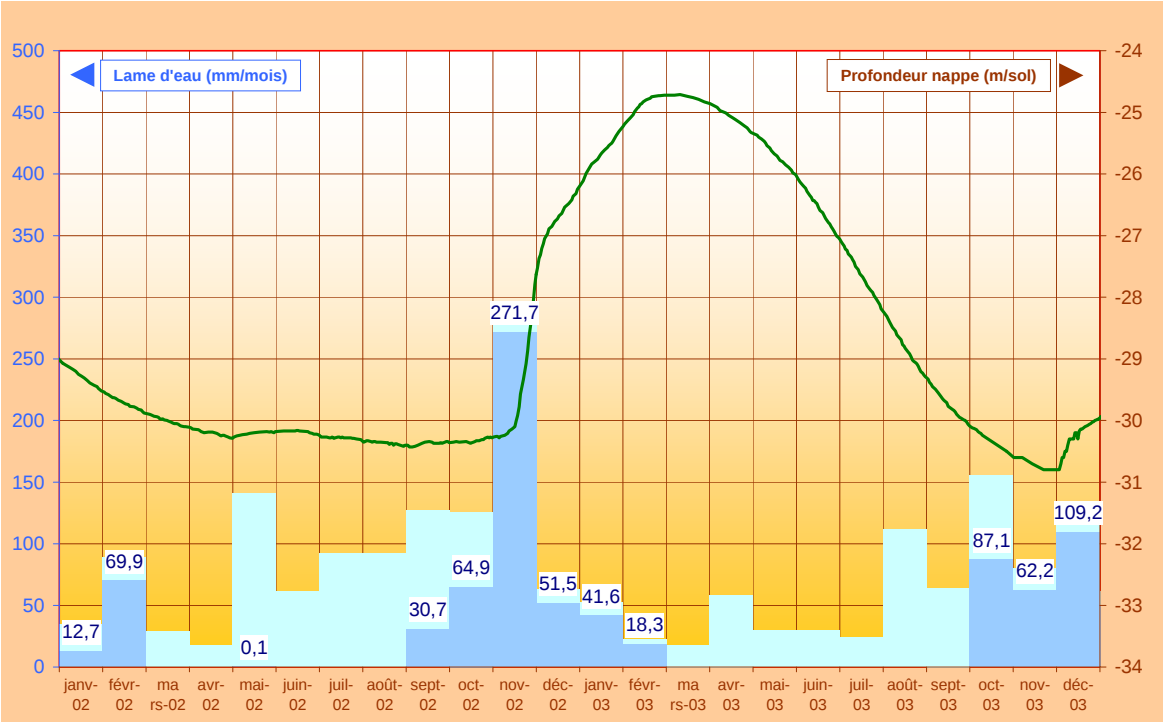
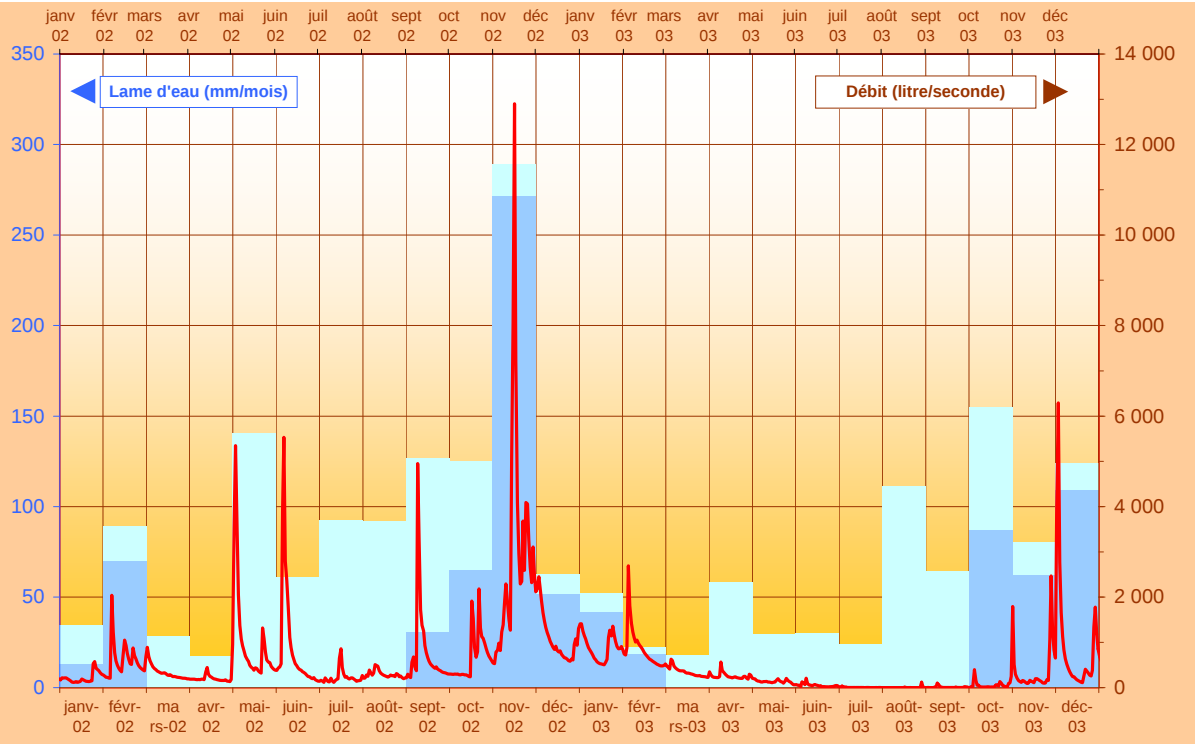


Illustration 39 - Débit du Rival à Brézins et niveau piézométrique de la nappe au bois des Burettes.

4.4.4. Débit des Collières à Saint-Rambert-d'Albon

Les rivières des Collières et de l'Oron sont alimentées par des eaux de ruissellement à la suite d'épisodes de pluie intense (hiver surtout, mais aussi en été), et par les débordements de la nappe des alluvions au droit des sources de Beaurepaire et de Manthes (étude SRAE février 1981 - M. de Bellegarde). Il est précisé dans ce rapport que « la part des écoulements souterrains est largement prédominante sur celle du ruissellement de surface ($4,3 \text{ m}^3/\text{s}$ pour $1,6 \text{ m}^3/\text{s}$) ». Cependant, il existe des variations importantes d'une année à l'autre, ces chiffres n'étant qu'une tendance moyenne sur plusieurs années.

En observant les altitudes des niveaux de la nappe (carte piézométrique 1994), on constate que le lit de ces rivières est situé le plus souvent 10 à 15 m au-dessus de la nappe, ce qui interdit tout drainage de celle-ci par ce réseau hydrographique.

Depuis le mois d'août 1998, les débits des Collières ne sont pratiquement jamais descendus en dessous de 500 litres/seconde à la station de Saint-Rambert-d'Albon (voir ill. n° 21, p. 41 du rapport BRGM/RP-56117-FR, janvier 2008).

Les dernières valeurs des débits moyens journaliers les plus basses observées à la station de Saint-Rambert-d'Albon sont indiquées dans le tableau 9.

Date	Débit moyen journalier (litre/seconde)
22 août 1998	138
31 juillet 2004	322
7 septembre 2006	446

Tableau 9 - Débits moyens journaliers les plus bas des Collières mesurés à Saint-Rambert-d'Albon.

Ce débit minimum de 500 l/s représente un volume annuel de : $0,5 \times 3\,600 \times 24 \times 365 / 1\,000\,000 = 16 \text{ Mm}^3/\text{an}$.

On constate d'autre part des augmentations importantes du débit de la rivière des Collières à Saint-Rambert-d'Albon en été. Le tableau 10 et l'illustration 40 montrent ce phénomène au cours des années 2003 et 2004.

Année	de septembre à février	de mars à août
2002-2003	57	50
2003-2004	26	33

Tableau 10 - Volume écoulé dans les Collières à Saint-Rambert-d'Albon en Mm^3 .

L'examen visuel des hydrogrammes montre que les volumes écoulés au cours de ces deux périodes d'été (50 Mm^3 en 2003 et 33 Mm^3 en 2004) sont imputables à 75 % à des rejets anthropiques.

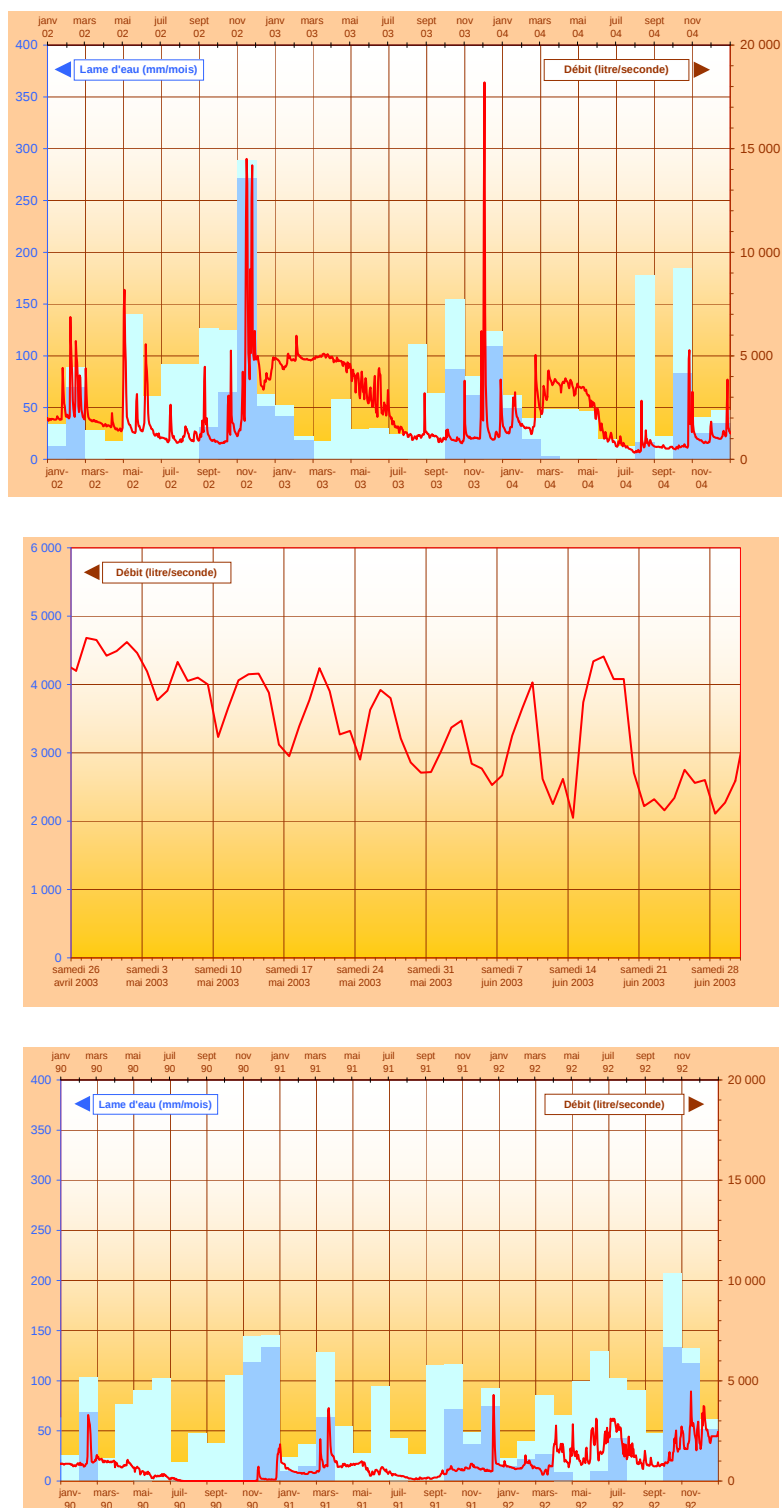


Illustration 40 - Corrélation pluie, pluie efficace et débits des Collières à Saint-Rambert-d'Albon.

Un agrandissement du graphique des débits des Collières, sur la période du 26 avril au 28 juin 2003, montre que les débits suivent un cycle hebdomadaire dont l'origine anthropique précise reste à déterminer (ill. 40).

Par comparaison, les débits d'été en 1990 et en 1991 ont connu des valeurs nulles ou très faibles (ill. 40) : un à sec de 118 jours consécutifs entre fin juillet et fin novembre 1990, et 51 jours à moins de 200 l/s entre le 1^{er} août 1991 et le 20 septembre 1991. Ces observations montrent qu'il y a eu une augmentation progressive des rejets anthropiques d'eau dans la rivière des Collières depuis le début des années 1990.

5. Propositions de règles de gestion volumique

5.1. SYNTHÈSE SUR LE RÉGIME HYDROLOGIQUE ET HYDROGÉOLOGIQUE DU BASSIN DE BIÈVRE-VALLOIRE

L'analyse des chroniques des débits des cours et des niveaux piézométriques permet de tirer des conclusions sur le régime hydrologique et hydrogéologique du bassin de Bièvre-Valloire qui permettent une bonne adaptation des règles de gestion du bassin. On retiendra les points importants suivants :

- du point de vue de la pluie efficace : l'alimentation en eau de la nappe est assurée essentiellement par la pluie efficace sur l'année hydrologique, et dépend donc de la hauteur des pluies d'hiver. Les pluies d'été participent peu à l'alimentation des nappes et aux débits des cours d'eau, elles contribuent cependant à couvrir les besoins en eau des plantes et leur occurrence empêche donc l'accentuation d'une situation de sécheresse déjà engagée (peu de prélèvements agricoles dans ce cas) ;
- du point de vue des niveaux piézométriques : ceux-ci sont d'excellents indicateurs de l'état de remplissage de la nappe. Ils permettent le suivi en continu des réserves en eau souterraines ;
- du point de vue des débits : les débits des cours d'eau situés en amont de Beaurepaire ne sont alimentés que par le ruissellement engendré par les pluies efficaces (exemple : le Rival à Brézins et le Rival à Beaufort). Un mois après un épisode de pluie efficace, les débits de ces cours d'eau sont ramenés à des valeurs très basses. Les débits de ces rivières ne sont pas représentatifs de la situation de recharge de la nappe. Tout au plus représentent-ils l'état de sécheresse en surface du bassin. Les débits des Collières à Saint-Rambert-d'Albon sont des débits principalement alimentés par les rejets anthropiques en rivières (STEP, et piscicultures). Ces rejets permettent le maintien des débits de la rivière même en période de sécheresse forte. Ainsi les débits des Collières à Saint-Rambert-d'Albon ne correspondent pas uniquement à l'écoulement naturel des eaux superficielles et ne sont donc pas représentatifs de la situation hydroclimatologique du bassin.

Enfin, il convient de retenir que l'année hydrologique 2004 (année calendaire 2003-2004) peut être considérée comme une année moyenne au cours de laquelle le bilan hydraulique du bassin Bièvre-Valloire est à l'équilibre (régime hydraulique permanent). Les différents flux de ce bilan sont présentés sur la figure 62 et le tableau 19 du rapport de la phase 1 de l'étude.

5.2. CRITÈRES D'ÉVALUATION DE LA SITUATION HYDRO-CLIMATOLOGIQUE DANS LE BASSIN DE BIÈVRE-VALLOIRE

La discussion précédente concernant le bilan hydrologique du bassin permet de proposer des critères d'évaluation de la situation hydroclimatologique de la ressource

en eau sur le bassin. Ces critères permettent de suivre l'évolution de la ressource en eau au cours du temps et de déterminer si l'on se trouve dans une situation hydroclimatologique où un risque de sécheresse est prononcé et pour laquelle des conflits d'usage sont susceptibles d'advenir (zones en jaune sur l'illustration 41). Ce suivi est primordial afin de prendre au plus tôt les mesures nécessaires pour empêcher une dégradation de la quantité des ressources en eau sur le bassin.

Ces critères sont élaborés à partir du régime des pluies efficaces d'hiver, des relations pluie - niveau et pluie - débit formulées précédemment puis validés à partir des modélisations sous GARDENIA. L'année hydrologique 2004 (année calendaire 2003-2004), a été définie précédemment comme l'« année moyenne » du bassin Bièvre-Valloire, pour laquelle le bilan hydraulique du bassin est à l'équilibre. À ce titre, l'année hydrologique 2004 constitue une année de référence qui permet de discerner si l'on se trouve dans une situation à risque de sécheresse faible (zones en bleu sur l'illustration 41) ou élevé (zones en jaune sur l'illustration 41). Les années hydrologiques 1990 (année calendaire 1989-1990) et 1998 (année calendaire 1997-1998), définies précédemment comme des « années critiques » du bassin Bièvre-Valloire, documentent ainsi une situation de sécheresse exceptionnellement prononcée. Il a été démontré, à partir de simulations sur le modèle GARDENIA, que la sécheresse observée pour l'année 1990 est globalement équivalente à celle attendue après 4 années déficitaires successives. Ainsi, en plus de l'année 2004, l'année 1990 apparaît robuste pour établir les critères de définition de la situation hydroclimatologique sur le bassin en permettant de documenter une situation de sécheresse extrême.

Les données retenues pour la surveillance de la situation hydroclimatologique sont les suivantes : le cumul de la pluie efficace depuis le 1^{er} septembre, les niveaux piézométriques de la nappe et les débits des cours d'eau observés.

5.2.1. Cumul de la pluie efficace depuis le 1^{er} septembre

On rappellera que les modélisations sur GARDENIA ont permis d'établir la fiabilité des données de pluie efficace calculées par Météo-France sur la station météorologique de Grenoble - Saint-Geoirs pour estimer la pluie efficace s'appliquant aux niveaux piézométriques du bassin Bièvre-Valloire. Sur l'illustration 41, 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 moyenne 2004 (P EFF totale de l'année moyenne) tout au long du cycle hydrologique. Les enveloppes sur l'illustration 41 représentent l'ensemble des données calculées de 1974 à 2008 par Météo-France pour la station de Grenoble - Saint-Geoirs, en bleu les valeurs supérieures à l'année moyenne 2004 et pour lesquelles le risque de sécheresse est resté faible, en jaune les valeurs inférieures à l'année moyenne et pour lesquelles le risque de sécheresse était élevé. L'acquisition des données de pluie efficace au près de Météo-France permet donc de suivre en continu sur l'illustration 41 la situation sur le bassin Bièvre-Valloire et de prendre les mesures nécessaires lorsque ces valeurs sont inférieures aux valeurs calculées pour l'année moyenne 2004 (risque de sécheresse élevé).

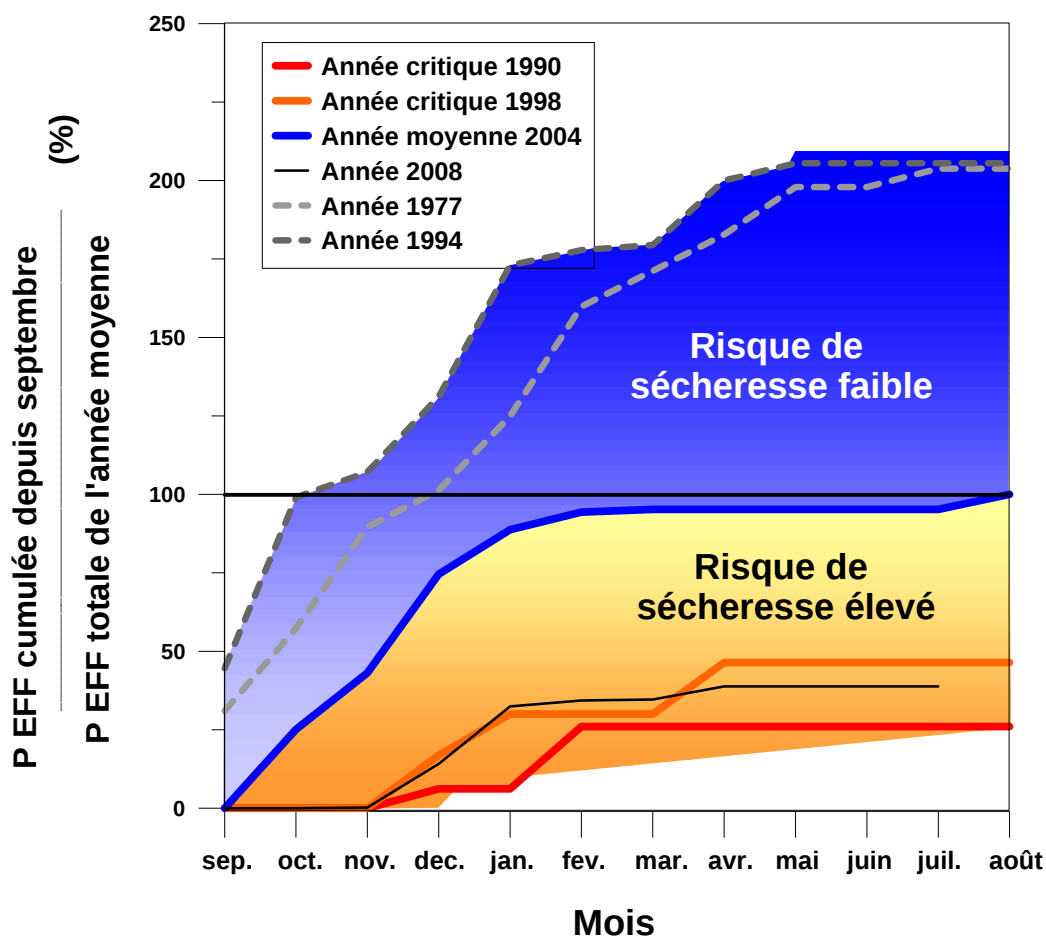


Illustration 41 - Évaluation de la situation hydroclimatologique à partir des valeurs cumulées de la pluie efficace (P EFF) fournies par Météo-France pour la station Grenoble - Saint-Geoirs. (données de 1974 à 2008) par rapport à la pluie efficace calculée pour l'année moyenne (357,1 mm pour 2004).

5.2.2. Niveaux piézométriques observés

Sur les illustrations 42, 43 et 44, les enveloppes reportées correspondent à l'ensemble des niveaux piézométriques observés du 1^{er} août au 31 juillet : en bleu les valeurs supérieures à l'année moyenne 2004 et pour lesquelles le risque de sécheresse est resté faible, en jaune les valeurs inférieures à l'année moyenne et pour lesquelles le risque de sécheresse était élevé. La durée des chroniques de niveau piézométrique est très variable suivant le piézomètre considéré et tous les piézomètres de suivi du niveau des nappes ne disposent pas de données pour l'année 1990 (c'est le cas notamment de Nantoin, Saint-Étienne Saint-Geoirs et Suzon). Ainsi une reconstitution de l'année 1990 à partir de simulations sur le modèle GARDENIA a été réalisée et est reportée sur les illustrations 42, 43 et 44.

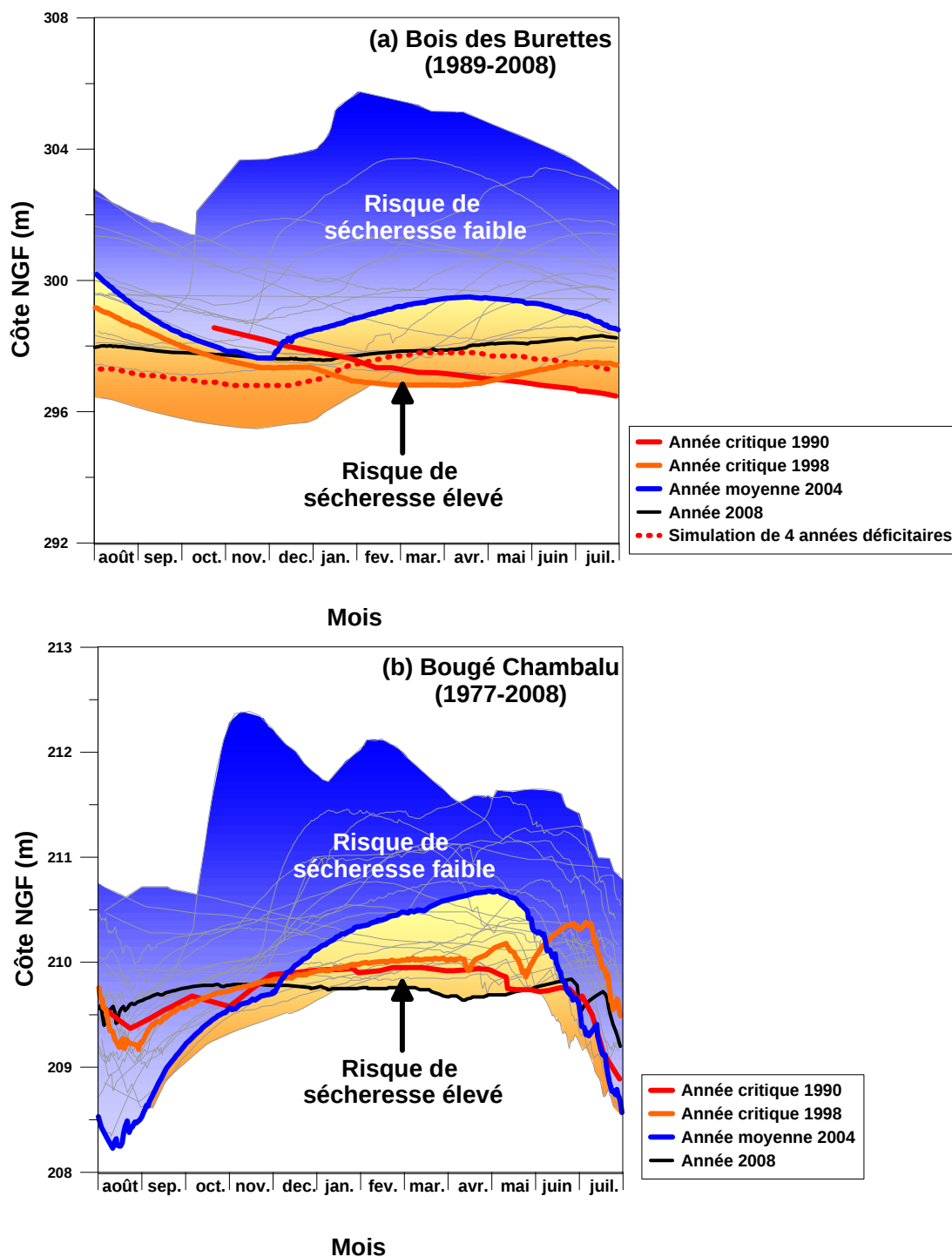


Illustration 42 - Évaluation de la situation hydroclimatologique à partir des niveaux piézométriques observés au bois des Burettes (a) et Bougé-Chambalu (b).

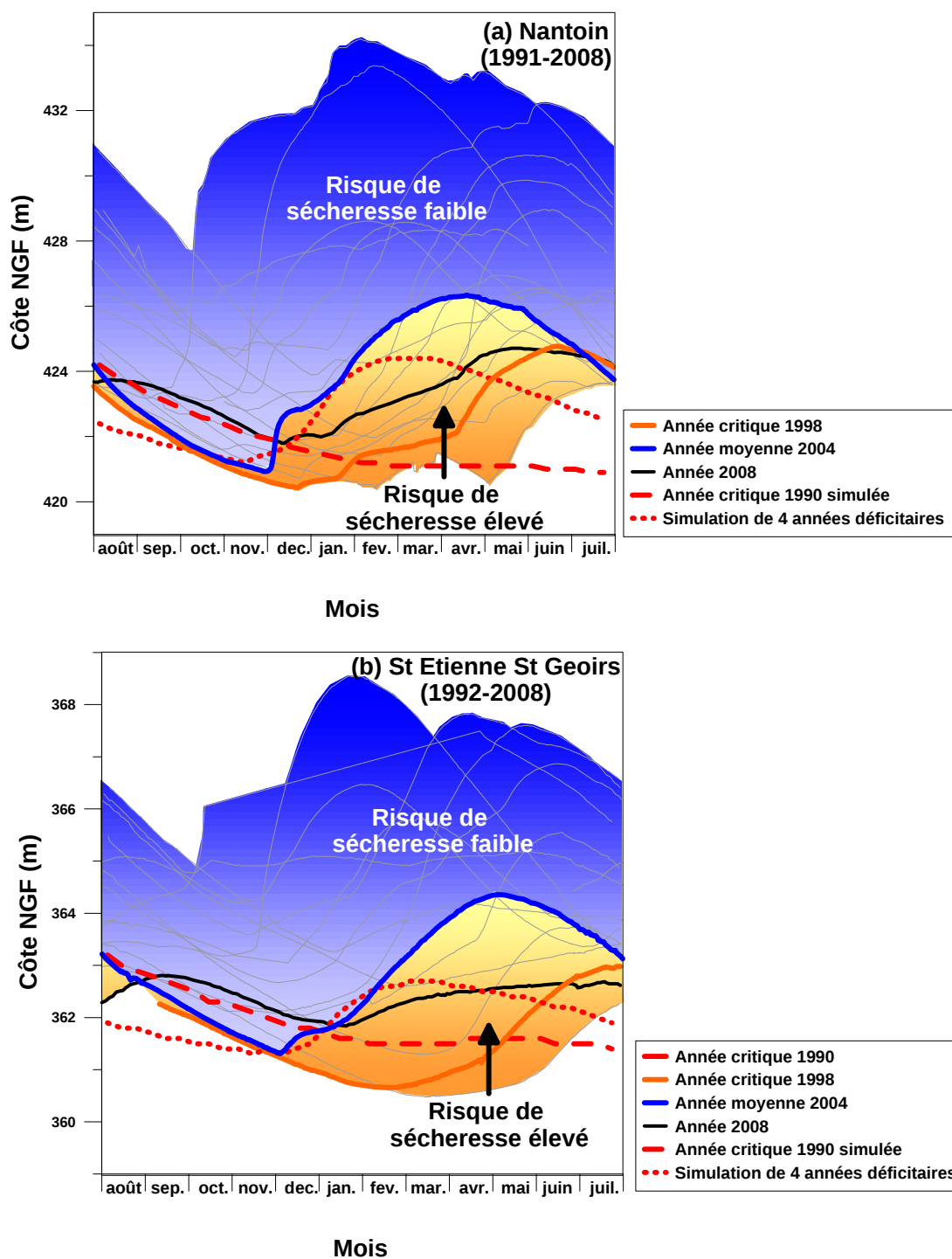


Illustration 43 - Évaluation de la situation hydroclimatologique à partir des niveaux piézométriques observés à Nantoin (a) et à Saint-Étienne-de-Saint-Geoirs (b).

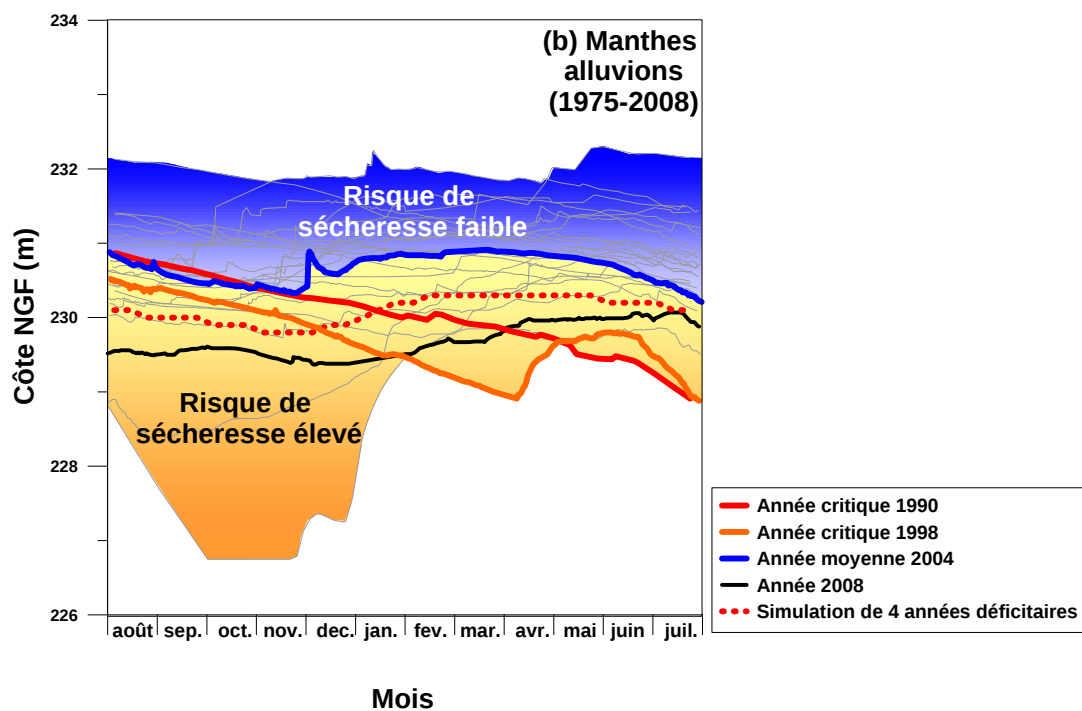
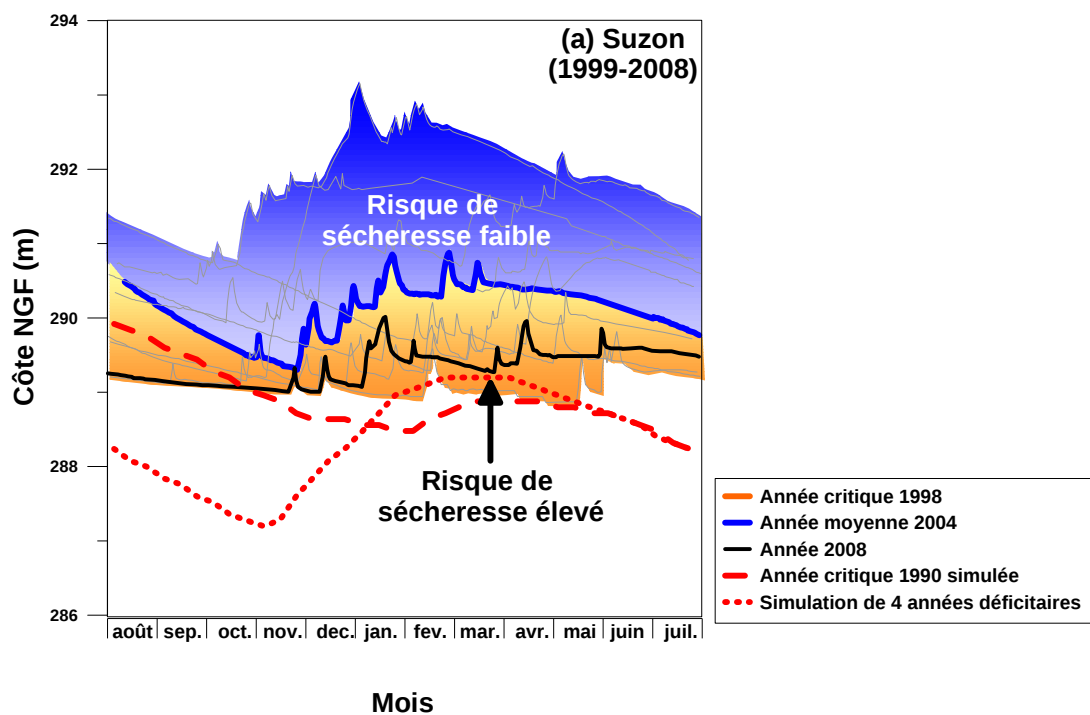


Illustration 44 - Évaluation de la situation hydroclimatologique à partir des niveaux piézométriques à Suzon (a) et à Manthes (b).

Les niveaux observés et simulés pour l'année 1990 (respectivement trait et pointillés rouge), ainsi que les niveaux simulés après quatre années déficitaires successives (tirets rouge) permettent de décrire pour chaque piézomètre les niveaux attendus correspondant à une sécheresse exceptionnelle. Ainsi, l'acquisition de données de niveau de la nappe sur ces piézomètres permet de suivre en continu, sur les illustrations 42, 43 et 44, la situation des ressources souterraines sur le bassin Bièvre-Valloire, si ces valeurs sont inférieures aux valeurs mesurées pour l'année moyenne 2004 on considèrera que le risque de sécheresse élevé, d'autant plus que l'on se rapproche des courbes mesurées pour les années critiques 1990 et 1998 et simulées pour l'année 1990 et après quatre années déficitaires successives.

5.2.3. Débit des cours d'eau

Nous avons vu que les débits des rivières sur le bassin Bièvre-Valloire sont fortement influencés par les pompages et les rejets notamment liés aux activités des piscicultures. Ainsi, les débits du cours d'eau des Collières à Saint-Rambert-d'Albon ne peuvent pas être considérés pour établir des critères de suivi de la situation hydroclimatologique sur le bassin. Les stations de jaugeage gérées par la DIREN RHA en amont du bassin à Beaufort et à Brézins mesurent, respectivement depuis 1978 et 1976, les débits du Rival considérés comme naturels.

Sur l'illustration 45, les enveloppes représentent l'ensemble des données de débit mesurées : en bleu les valeurs supérieures à l'année moyenne 2004 et pour lesquelles le risque de sécheresse est considéré comme faible, en jaune les valeurs inférieures à l'année moyenne et pour lesquelles le risque de sécheresse est considéré comme élevé. L'acquisition de données de débit par la DIREN RHA pour le Rival à Beaufort et Brézins permet donc de suivre en continu sur l'illustration 45 la situation sur le bassin Bièvre-Valloire. Cependant compte tenu de la possible influence des activités anthropiques sur ces débits, ces données ne seront considérées qu'en complément d'un diagnostic solidement bâti à partir des critères d'évaluation de la situation hydroclimatologique précédemment établis (pluie efficace cumulée à partir du 1^{er} septembre et niveaux piézométriques mesurés).

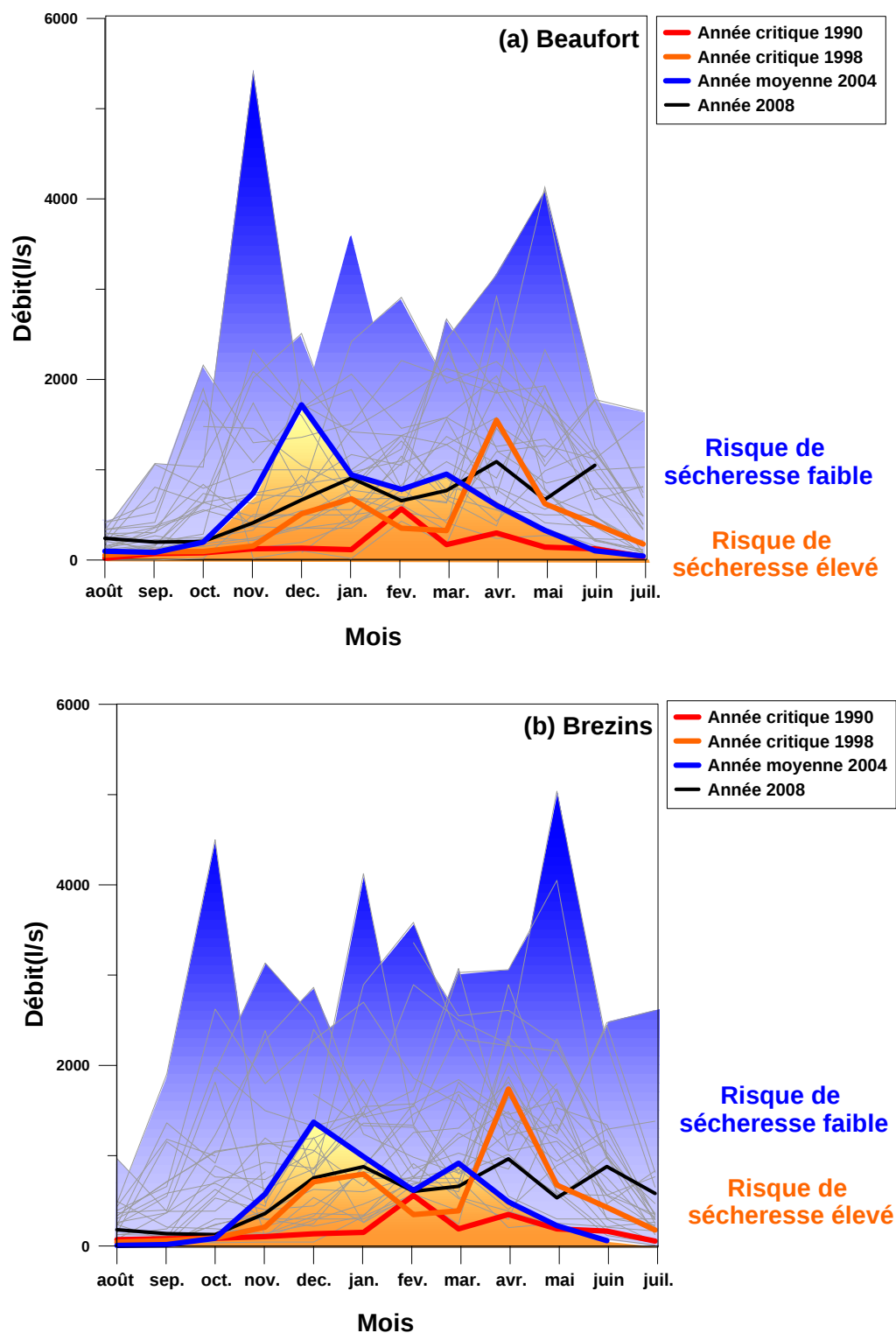


Illustration 45 - Évaluation de la situation hydroclimatologique à partir des débits observés du Rival à Beaufort (a) et à Brézins (b).

5.3. RÈGLES DE GESTION EXISTANTES ET NOUVELLES PROPOSITIONS POUR LE BASSIN DE BIÈVRE-VALLOIRE

Les départements de la Drôme et de l'Isère disposent chacun d'arrêtés qui permettent de définir les règles de gestion de la ressource en eau en situation de sécheresse.

5.3.1. Règles de gestion existantes dans les départements de la Drôme et de l'Isère

a) Département de l'Isère

La partie Bièvre du bassin de Bièvre-Valloire correspond à un des secteurs pouvant faire l'objet de mesures de restriction en cas de sécheresse sur le département de l'Isère. Dans le département de l'Isère, l'arrêté cadre « sécheresse » n° 2007-06819 du 31 juillet 2007 est un arrêté préfectoral concernant tous les usagers de l'eau. Il s'applique à l'ensemble du département et 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'étiage 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 passage de la situation « vigilance » à « risque de sécheresse (niveau 1) » est motivée par le dépassement des différents 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).

La situation de « risque de sécheresse » est constatée par arrêté préfectoral.

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

- la station météorologique de référence de Grenoble - Saint-Geoirs (Météo-France) ;
- les stations piézométriques de référence du bois des Burettes, Bougé-Chambalud, Saint-Étienne-de-Saint-Geoirs, puits Primat de la Côte Saint-André, la station expérimentale de Jarcieu, Nantoin et Suzon ;
- la station hydrologique de référence du Rival à Brézins ;
- les stations ROCA de référence du Rival à Beaufort et du Dolon à Pact.

b) Département de la Drôme

La partie Valloire du bassin de Bièvre-Valloire correspond à un des secteurs pouvant faire l'objet de mesures de restriction en cas de sécheresse sur le département de la Drôme. Dans le département de la Drôme, l'arrêté n° 04-3272 définit les niveaux d'intervention portant sur la gestion et la préservation de la ressource en eau en période de sécheresse (13 juillet 2004). La gestion des usages de l'eau est organisée ainsi selon trois niveaux d'intervention constatés par décision préfectorale :

- niveau de vigilance, instauré sur la base des données hydro-climatologiques fournies par les réseaux de surveillance générale de la situation ;
- niveau de restriction, instauré au vu de l'évolution de la situation hydroclimatologique générale, de la période de retour de l'événement calculée après analyse statistique des données disponibles, ainsi que des informations recueillies au niveau local ;
- niveau de restriction exceptionnelle, instauré en cas de gravité extrême de la situation.

Pour la Drôme, il n'existe pas de référentiel de données et d'observations ou de valeurs seuils utilisées pour l'évaluation de la situation hydroclimatologique comme c'est le cas pour l'Isère (arrêté cadre « sécheresse » n° 2007-06819).

5.3.2. Compléments apportés par cette étude pour une plus grande précision des seuils de gestion

a) Pour l'Isère

Les critères d'évaluation de la situation hydroclimatologique proposés dans cette étude, qui définissent le passage d'un « risque de sécheresse » faible (zones en bleu) à élevé (zones en jaune), permettent de caractériser **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.

Pour l'année 2008, le niveau « risque de sécheresse » a été atteint sur le bassin Bièvre-Valloire et a justifié la décision de restriction provisoire de certains usages de l'eau sous l'arrêté préfectoral n° 2008-06435 du 21 juillet 2008. L'examen des valeurs

cumulées de la pluie efficace (P EFF) fournies par Météo-France pour la station de Grenoble - Saint-Geoirs (ill. 41), inférieures dès octobre 2008 aux valeurs cumulées pour l'année moyenne 2004, confirmé par l'examen des niveaux piézométriques de la nappe, inférieurs dès janvier 2008 aux valeurs mesurées pour l'année moyenne 2004 (ill. 42, 43 et 44) justifie cette prise de décision pour l'année 2008. Ainsi, les critères d'évaluation de la situation hydroclimatologique proposés dans cette étude auraient permis d'envisager ce risque de sécheresse dès avril-mai 2008 (fin de période des pluies efficaces d'hiver).

b) Pour la Drôme

Les critères d'évaluation de la situation hydroclimatologique proposés dans cette étude, qui définissent le passage d'un « risque de sécheresse » faible (zones en bleu) à élevé (zones en jaune), permettent de caractériser **le passage de la situation de « vigilance » à « niveau de restriction »** de l'arrêté arrêté n° 04-3272 du 13 juillet 2004.

Pour l'année 2008, le niveau « risque de sécheresse » a été atteint sur le bassin Bièvre-Valloire et a justifié la décision de restriction provisoire de certains usages de l'eau sous l'arrêté préfectoral n° 08-2265 du 28 mai 2008. L'examen des valeurs cumulées de la pluie efficace (P EFF) fournies par Météo-France pour la station de Grenoble - Saint-Geoirs (ill. 41), inférieures dès octobre 2008 aux valeurs cumulées pour l'année moyenne 2004, confirmé par l'examen des niveaux piézométriques de la nappe, inférieurs dès janvier 2008 aux valeurs mesurées pour l'année moyenne 2004 (ill. 42, 43 et 44) justifie cette prise de décision pour l'année 2008. Ainsi, les critères d'évaluation de la situation hydroclimatologique proposés dans cette étude auraient permis d'envisager ce risque de sécheresse dès avril-mai 2008 (fin de période des pluies efficaces d'hiver). Pour le département de la Drôme, il n'existe pas actuellement de valeurs seuils pour caractériser la situation hydroclimatologique du bassin, nous proposons donc de prendre en compte les valeurs calculées pour la pluie efficace à la station de Grenoble - Saint-Geoirs et les valeurs de niveaux piézométriques mesurées pour l'année hydrologique 2004 considérée comme l'année moyenne du bassin.

5.4. LIMITES DES POSSIBILITÉS DE GESTION

Le dépouillement des données disponibles (pluie, pluie efficace, niveaux piézométriques, débits des cours d'eau, prélèvements et rejets en rivière) permet d'établir un bilan moyen annuel des flux dans le bassin de Bièvre-Valloire. Il a été mis en évidence l'importance des pluies efficaces d'hiver sur les variations des niveaux de la nappe et des débits des cours d'eau.

Si les prélèvements en nappe ont pour effet d'accélérer et d'accentuer le phénomène de vidange de la nappe (en année moyenne les prélèvements en nappe représentent 28 % du volume d'eau disponible dans la nappe provenant des pluies efficaces de l'hiver précédent), il n'est pas possible actuellement d'évaluer l'effet de ces prélèvements sur les variations piézométriques de la nappe. L'effet des prélèvements sur les niveaux piézométriques est diffus, il comprend des phénomènes de retard. La

simple lecture des courbes piézométriques ne permet pas de faire la distinction entre baisse naturelle des niveaux, due à la vidange du réservoir, de l'impact des prélèvements. Les modélisations GARDENIA et TEMPO, ne prenant pas en compte les prélèvements dans leur calage, n'apportent pas de réponse à ces questions. L'examen des chroniques des débits ne permettent pas non plus d'évaluer l'impact des prélèvements sur les débits des cours d'eau : en amont, les débits ne proviennent que du ruissellement, en aval, les débits proviennent de ruissellement et des rejets.

Il n'est donc pas possible d'estimer précisément l'effet d'une réduction ou d'une augmentation des prélèvements sur les niveaux piézométriques de la nappe.

En première approximation, il est possible de proposer l'idée que les baisses de niveaux piézométriques seraient imputables aux prélèvements en nappe au prorata des volumes prélevés vis-à-vis des volumes qui s'écoulent dans celle-ci. Comme le phénomène des écoulements souterrains est un phénomène transitoire, cette approche ne serait qu'approximative.

Pour apporter une réponse plus précise à cette question, il serait nécessaire de bâtir un modèle hydrodynamique maillé, qui prendrait en compte à la fois la géométrie du réservoir et ses caractéristiques hydrauliques (perméabilité et porosité), les conditions hydrauliques aux limites du bassin versant, et les alimentations par les pluies efficaces et les prélèvements point par point à un pas mensuel. Ce développement pourrait être mis en œuvre ultérieurement, une fois mieux connus la localisation et les volumes mensuels de tous les prélèvements.

5.5. AMÉLIORATION DU DISPOSITIF DE SUIVI

L'étude propose d'utiliser les données des pluies efficaces de Météo-France, afin de compléter le dispositif de suivi de l'état de la ressource. En effet, le cumul des pluies efficaces, depuis le 1^{er} septembre de chaque année, est le premier indicateur de la ressource en eau à venir du bassin. Ce cumul correspond aux volumes d'eau que l'on retrouvera, au cours des mois suivants, soit dans la nappe, soit dans les rivières. Il permet, de part son caractère anticipatif, une amélioration du dispositif de suivi de la ressource.

Les réseaux de suivi des débits et des niveaux des nappes possèdent actuellement de longues séries de mesure qui permettent une bonne évaluation des régimes de très basses eaux. Les simulations d'une année sèche (type 1990) ou de trois années déficitaires ont donné des seuils minimums pour les niveaux des nappes.

Il serait utile d'améliorer la connaissance des points des prélèvements en définissant chaque point de prélèvements par leurs coordonnées géographiques, leur profondeur, et en leur attribuant un indice BSS. La connaissance des coordonnées des points permettrait de savoir si ces points sont à l'intérieur ou à l'extérieur du bassin versant, la profondeur permettrait de connaître le niveau géologique capté (alluvions ou molasse en particulier), et l'indice BSS, en étant un identifiant commun à toutes les bases de données (AERMC, DDAF et autres), permettrait un meilleur échange de données. Ces informations existent pour une bonne part des points de prélèvements, mais par pour

tous. Il faudrait généraliser ces précisions à l'ensemble des points d'eau du bassin versant afin de pouvoir disposer d'une évaluation fiable des volumes mensuels prélevés (comme évoqué dans le paragraphe 5.4).

Enfin, il faudrait pouvoir traduire en termes économiques l'impact des autorisations ou des réductions des prélèvements demandées par l'administration, afin de pouvoir réaliser une approche économique de la gestion de l'eau du bassin de Bièvre-Valloire.

5.6. RÉFLEXIONS SUR LES OBJECTIFS DE GESTION DE LA RESSOURCE EN EAU

On rappelle dans le tableau 11 des éléments de réflexion sur les objectifs de gestion de la ressource en eau du bassin de Bièvre-Valloire auxquels il est possible de se référer pour la définition des choix de gestion volumique de cette ressource.

Thématiques	Enjeux vis-à-vis de la ressource	Impact
Activités agricoles	Maintien des prélèvements en nappe pour l'activité agricole (ou renforcement ?)	Fort : assez forts prélèvements en nappe
Activités industriels		Relativement faible : faibles volumes prélevés
Activités piscicoles		Fort : forts prélèvements en nappe / forts rejets en rivière (soutien d'étiage)
Présence des STEP	Nécessite des débits d'étiage suffisant	
Activités de pêche en rivière	Bon état qualitatif et quantitatif des cours d'eau	
Maintien écologique du Bassin	Maintien des zones humides...	Fort: contraintes sur les prélèvements en nappe pour maintenir un niveau suffisant
....		

Objectifs de gestion découlant des décisions prises	
Sur la ressource souterraine	Mise en place de niveaux d'alerte ?
Sur la ressource superficielle	Mise en place de seuils d'alerte ?

Les outils du suivi de la ressource	
Connaissance des pluies efficaces - Mise à jour mensuelle	
Suivi piézométrique	
Suivi des débits	
Logiciel de traitement pluie - niveau - débit - (superposition, corrélation, statistique)	

Tableau 11 - Éléments de réflexion sur les objectifs de gestion de la ressource en eau du bassin de Bièvre-Valloire.

6. Conclusion

Le bassin de Bièvre-Liers-Valloire fait l'objet d'un suivi des niveaux piézométriques depuis 1974 et des débits des rivières depuis 1976. Ces réseaux de mesure ont été progressivement complétés depuis leur première création. On compte actuellement trois stations de jaugeage et sept piézomètres en activité et pour lesquels on dispose des données journalières. Ce dispositif de mesure sert de base à la connaissance de la ressource en eaux du bassin et à ses évolutions dans le temps. Les prélèvements en eau souterraine et en eau superficielle dans le bassin pour l'irrigation, l'alimentation en eau potable et l'industrie font l'objet d'un suivi régulier. Les données des prélèvements sont enregistrées et disponibles à l'agence de l'eau RM&C. Le recensement de ces volumes prélevés semble exhaustif depuis 2000. Seuls les prélèvements pour les besoins piscicoles et les prélèvements domestiques ne font pas l'objet d'un suivi par l'agence de l'eau.

L'ensemble de ces données est répertorié dans les bases de données des DDAF de la Drôme et de l'Isère.

L'étude présentée dans ce rapport fait le point sur l'ensemble de ces données.

On a introduit dans la liste des données à suivre les valeurs des pluies efficaces sur le bassin, calculées par Météo-France à la station de Grenoble - Saint-Geoirs. Celles-ci permettent une bonne évaluation de l'alimentation de la ressource.

Sur le bassin Bièvre-Valloire, les déficits observés en période de sécheresse pour les eaux souterraines et les eaux de surface n'ont pas la même origine. En effet, l'alimentation des eaux souterraines est assurée par les infiltrations de pluie efficace d'hiver, tandis que les débits des cours d'eau proviennent principalement du ruissellement. Le prélèvement d'eaux souterraines et leur rejet par les piscicultures dans les rivières atténuent la situation de sécheresse des rivières en constituant un soutien à l'étiage. Cependant ce soutien d'étiage se fait au détriment des ressources en eaux souterraines dont la situation de sécheresse déjà engagée est susceptible de s'accroître. Ainsi les ressources en eaux souterraines et les eaux de surface n'ont pas le même statut en situation de sécheresse : alors que les eaux de surface peuvent être soutenues artificiellement par des prélèvements d'eaux souterraines, la nappe peut voir ses ressources diminuer prématurément.

Après un examen des chroniques des pluies efficaces, des niveaux de la nappe et des débits des rivières, des graphiques synthétiques sont proposés afin de suivre en temps réel la situation hydroclimatique de la ressource en eau du bassin de Bièvre-Valloire et d'établir des règles de gestion volumique. Le risque de sécheresse est évalué à partir de ces graphiques afin de pouvoir déclencher au plus tôt les mesures spécifiques adaptées (réduction des prélèvements d'eau sur le bassin) si le risque de sécheresse s'avère prononcé.

L'étude montre qu'il serait nécessaire d'améliorer la connaissance des points de prélèvement. Pour cela, il faudrait pour chaque point de prélèvement connaître leurs coordonnées géographiques, leur profondeur, et leur attribuer un indice BSS qui serait commun à toutes les bases de données (AERM&C, DDAF, Chambre d'agriculture, SAGE) et qui permettrait d'établir les volumes mensuels prélevés sur chaque point. Il serait nécessaire également d'avoir un meilleur suivi des prélèvements des pisciculteurs, voire des prélèvements domestiques.

La nappe possède une capacité de stockage et peut faire face à plusieurs années de déficit ou une année sèche - sous réserve que ce soit précédé d'une année humide.

Le bilan, établi pour une année moyenne type 2004, permet de quantifier la part des prélèvements dans le bilan d'ensemble. On note que les prélèvements agricoles, qui représentent 21 % des prélèvements globaux, sont concentrés en été. Durant les mois de juin, juillet et août, les prélèvements sont ainsi doublés par rapport aux autres mois de l'année. Les prélèvements des pisciculteurs représentent 57 % des prélèvements globaux. On notera toutefois l'effet bénéfique de l'activité piscicole dans le soutien d'étiage des rivières sur la moitié aval du bassin.

Une piste proposée par l'étude serait d'établir une relation entre les volumes prélevés pour chaque usage et leur impact sur l'économie du bassin. Il pourrait en découler un élément supplémentaire pour la répartition de la ressource.

Annexe 1

Modélisation des piézomètres du bassin de Bièvre-Valloire - Logiciel GARDENIA

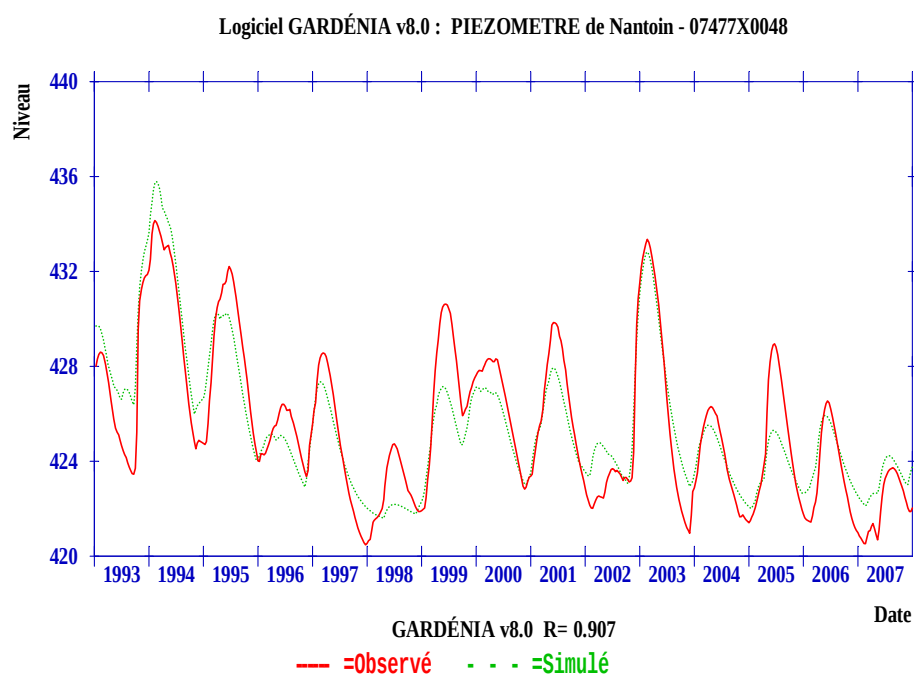


Illustration 46 - Modélisation du niveau piézométrique de Nantoin.

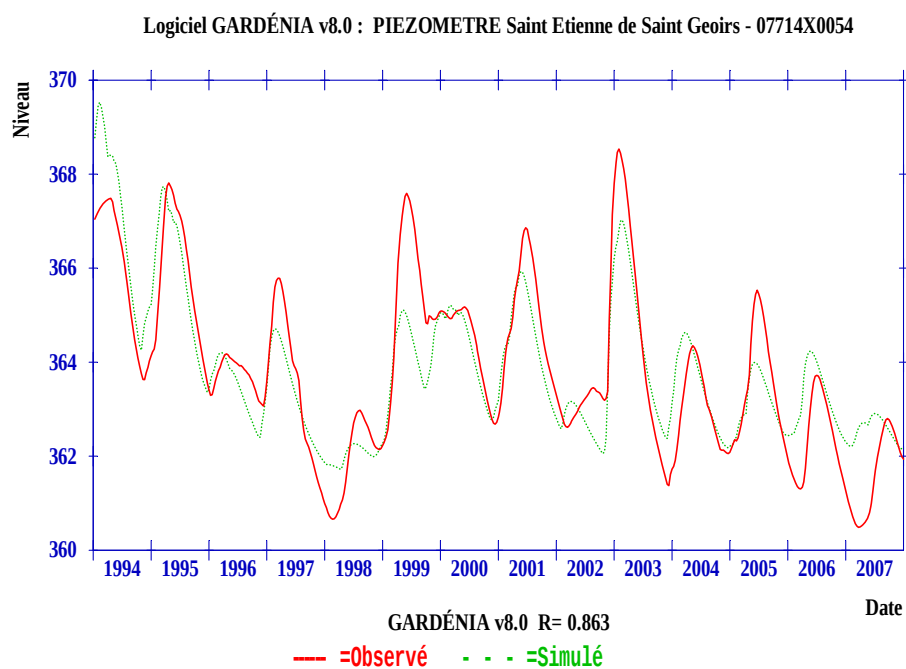


Illustration 47 - Modélisation du niveau piézométrique de Saint-Étienne-de-Saint-Geoirs.

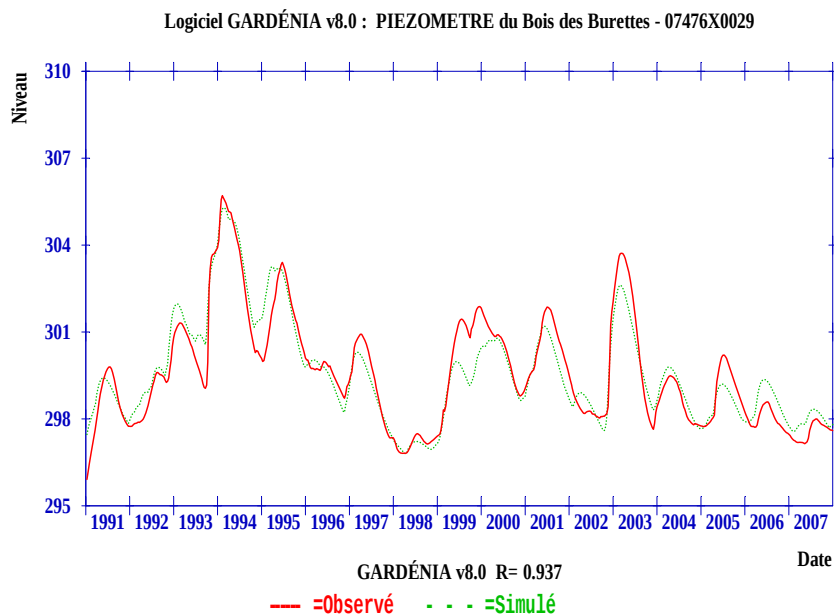


Illustration 48 - Modélisation du niveau piézométrique du bois des Burettes.

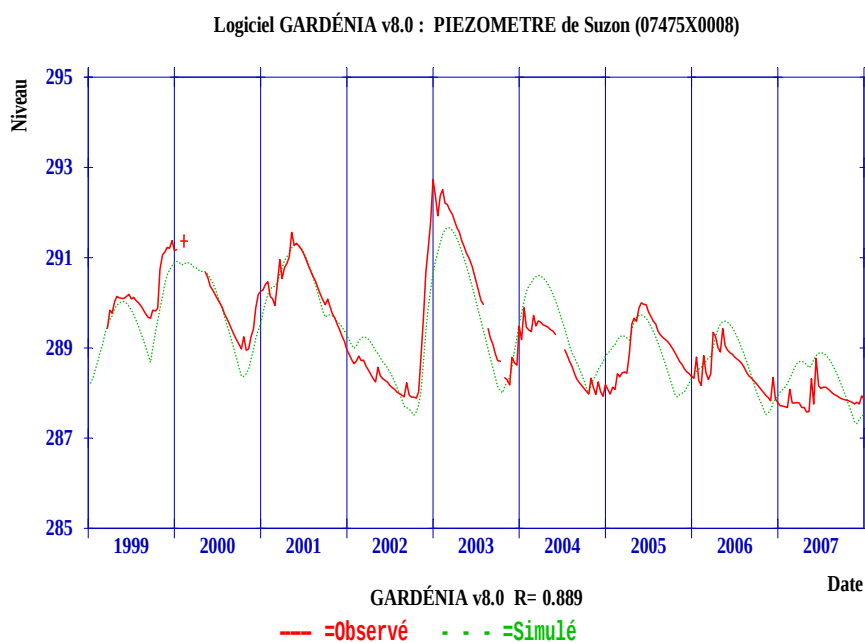


Illustration 49 - Modélisation du niveau piézométrique de Suzon.

Logiciel GARDÉNIA v8.0 : PIEZOMETRE de Manthes (Alluvions) (07704X0079)

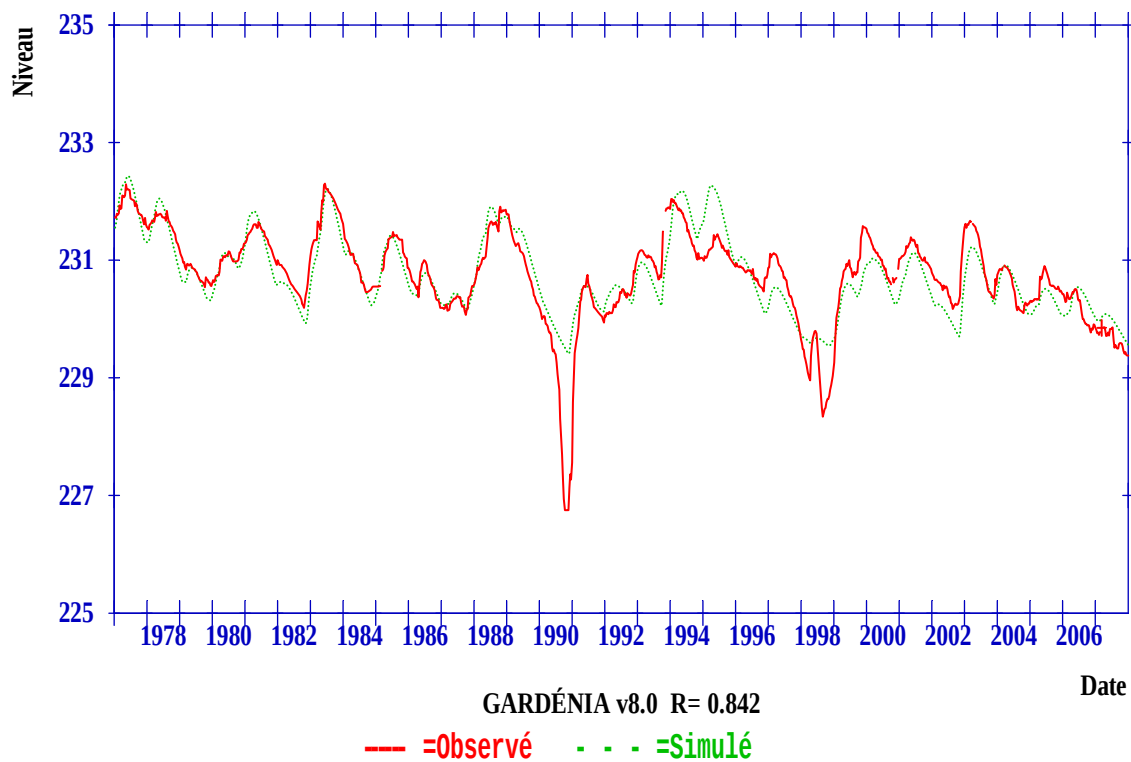


Illustration 50 - Modélisation du niveau piézométrique de Manthes (alluvions).

Annexe 2

Compléments sur le fonctionnement du modèle TEMPO

Principe de la modélisation sous TEMPO

Le logiciel TEMPO, développé par le BRGM, est utilisé depuis plusieurs années dans le domaine de l'hydro(géo)logie (hydrologie et hydrogéologie) pour **modéliser et prévoir des niveaux de nappes ou des débits à l'exutoire d'un bassin versant**.

TEMPO est un logiciel intégrant de nombreuses méthodes permettant de traiter des séries temporelles (ill. 1). TEMPO peut donc être considéré comme apparenté aux logiciels de **traitement du signal** (d'une façon générale, on appelle « signal » toute variable évoluant dans le temps). D'autres thématiques, en dehors du champ de l'hydro(géo)logie, ont fait l'objet de modélisations par TEMPO. On peut citer, à titre indicatif, l'étude des mécanismes de transfert du radon depuis le sol vers les habitations en Lorraine (rapport BRGM/RP-53886-FR).

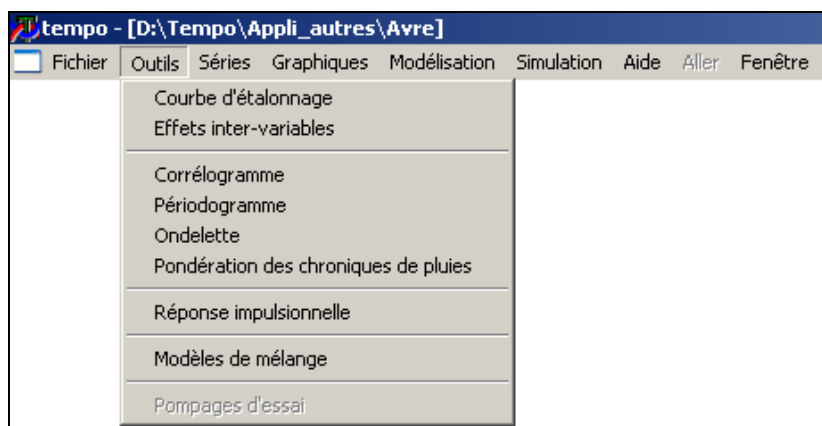


Illustration 51 - Barre de menu du logiciel TEMPO et outils proposés.

En hydrogéologie, TEMPO est principalement utilisé pour décrire le fonctionnement d'un hydrosystème : une pluie de durée et d'intensité suffisante, en période hivernale par exemple (où l'ETP est faible), va induire :

- une élévation du niveau de la nappe (due à la part infiltrée de la pluie), hausse du niveau qui se manifestera avec un certain temps de retard, fonction des caractéristiques de l'aquifère ;
- une augmentation du débit du cours d'eau, due à la fraction de la pluie qui va ruisseler (la réaction du bassin superficiel à la pluie sera plus rapide que celle de la nappe) et à la contribution éventuelle de la nappe (contribution qui sera, elle, différée).

Il y a donc deux types d'écoulements : un écoulement « lent » dans l'aquifère et un écoulement « rapide » sur le bassin versant.

La modélisation d'un tel hydrosystème avec TEMPO consistera à reproduire les niveaux de la nappe et/ou les débits à l'exutoire à l'aide des données climatiques, pluies et ETP.

Le système est considéré comme un « tout » et **la modélisation est dite « globale »**.

Contrairement à un modèle maillé (spatialisé), **une modélisation globale ne permettra pas d'établir de différenciations spatiales**. Par exemple, une zone à forte concentrations de pompages ou un secteur aquifère plus productif ou zone de forte infiltration, ne seront pas pris explicitement en compte.

Qu'est ce qu'une modélisation globale ?

La modélisation globale d'un hydrosystème consiste à rechercher la liaison entre l'entrée du système (pluie et ETP) et la sortie (niveaux et/ou débits).

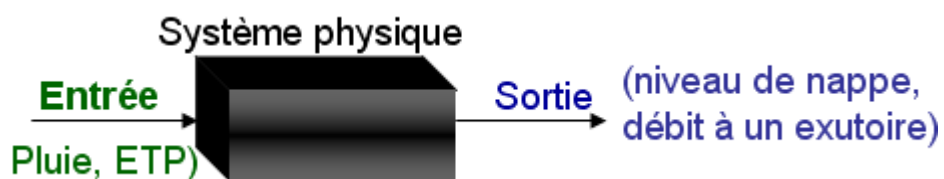


Illustration 52 - Modèles construits avec TEMPO sont du type « boîte noire ».

Le modèle construit avec TEMPO sera un **modèle de type « boîte noire »** (en se référant à la typologie établie pour classer les modèles).

La liaison entre « entrée » et « sortie » est assurée par l'intermédiaire d'une fonction qui doit caractériser globalement l'hydrosystème (et qui permet de s'affranchir de tous les paramètres inconnus du bassin superficiel et souterrain).

La fonction recherchée doit reproduire le fonctionnement de l'hydrosystème, c'est-à-dire sa réponse aux épisodes pluvieux (élévation du niveau de la nappe, augmentation du débit à l'exutoire...). La sortie calculée (niveaux ou débits) doit s'ajuster au mieux sur la série de mesures en reproduisant en particulier :

- les déphasages : il y a généralement une réaction différée de l'hydrosystème aux épisodes pluvieux, le « temps retard » étant plus ou moins important en fonction des caractéristiques du bassin (taille, topographie, densité de drainage, paramètres hydrodynamiques de l'aquifère sous-jacent) ;
- les amplitudes de fluctuations.

La fonction recherchée est appelée fonction de transfert.

Comment agit la fonction de transfert ?

Dans TEMPO, la fonction de transfert peut prendre une forme mathématique donnée (par exemple, dans des cas très simples, une fonction exponentielle) ou bien être représentée directement par une suite continue de valeurs g_i sur les intervalles de temps (le jour ou la décade) découpant la période de modélisation considérée :

- g_0 , sur l'intervalle $t = 0$ à Δt ;

- g_1 , sur l'intervalle $t = \Delta t$ à $2\Delta t$;
- g_2 , sur l'intervalle $t = 2\Delta t$ à $3\Delta t$;
- g_3 , sur l'intervalle $t = 3\Delta t$ à $4\Delta t$.

Si la fonction se présente sous une certaine forme mathématique, il est bien sûr possible d'obtenir aussi sur les intervalles de temps, la suite de valeurs $g_0, g_1, g_2, g_3, g_4, \dots$

La fonction de transfert agit comme un « modulateur » : elle module le signal d'entrée de façon à ce que les valeurs calculées de la variable de sortie (débit ou niveau) s'ajustent le mieux possible aux mesures.

Les deux exemples qui suivent illustrent l'action de la fonction de transfert.

Premier exemple

Pour comprendre comment la fonction de transfert permet de passer de l'entrée du système à la sortie, considérons l'exemple simple d'un aquifère avec une entrée constituée par une recharge brève R de la nappe sur un seul intervalle de temps Δt (on parle d'impulsion). La sortie est le niveau de la nappe $H(t)$.



Supposons la fonction de transfert connue (par exemple une fonction exponentielle). Sur la période de temps considérée, subdivisée en intervalles Δt (le jour ou la décade), la fonction de transfert prend les valeurs $g_0, g_1, g_2, g_3, g_4, \dots$

Par l'intermédiaire de cette fonction, la recharge R sera convertie en une suite de réponses de la nappe (ill. 53) :

$$H_0, H_1, H_2, H_3, H_4, \dots$$

Dans ce cas très simple, les niveaux de la nappe aux dates successives t_0, t_1, t_2, t_3, t_4 , ne sont donc qu'une simple pondération de la recharge initiale par les valeurs de la fonction de transfert.

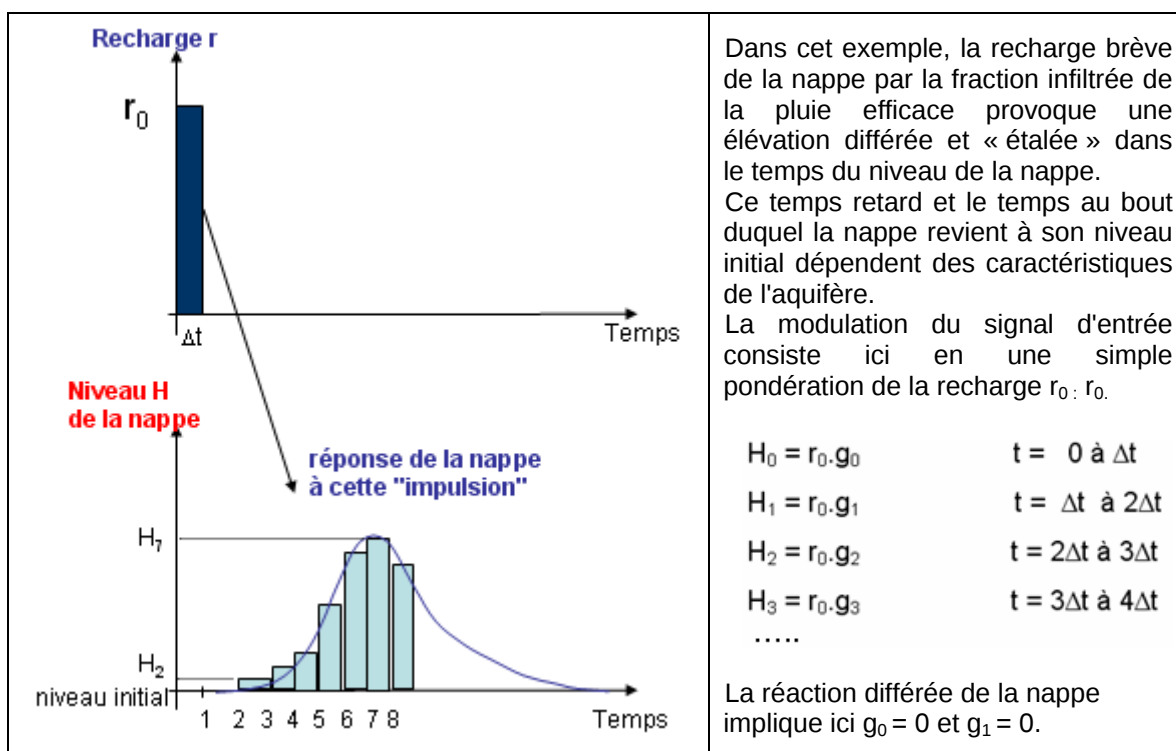


Illustration 53 - Exemple illustrant l'action de la fonction de transfert.

Deuxième exemple

Que se passe-t-il dans le cas d'une succession de recharges ? La figure ci-dessous illustre l'action de la fonction de transfert dans le cas de trois épisodes de recharge successifs.

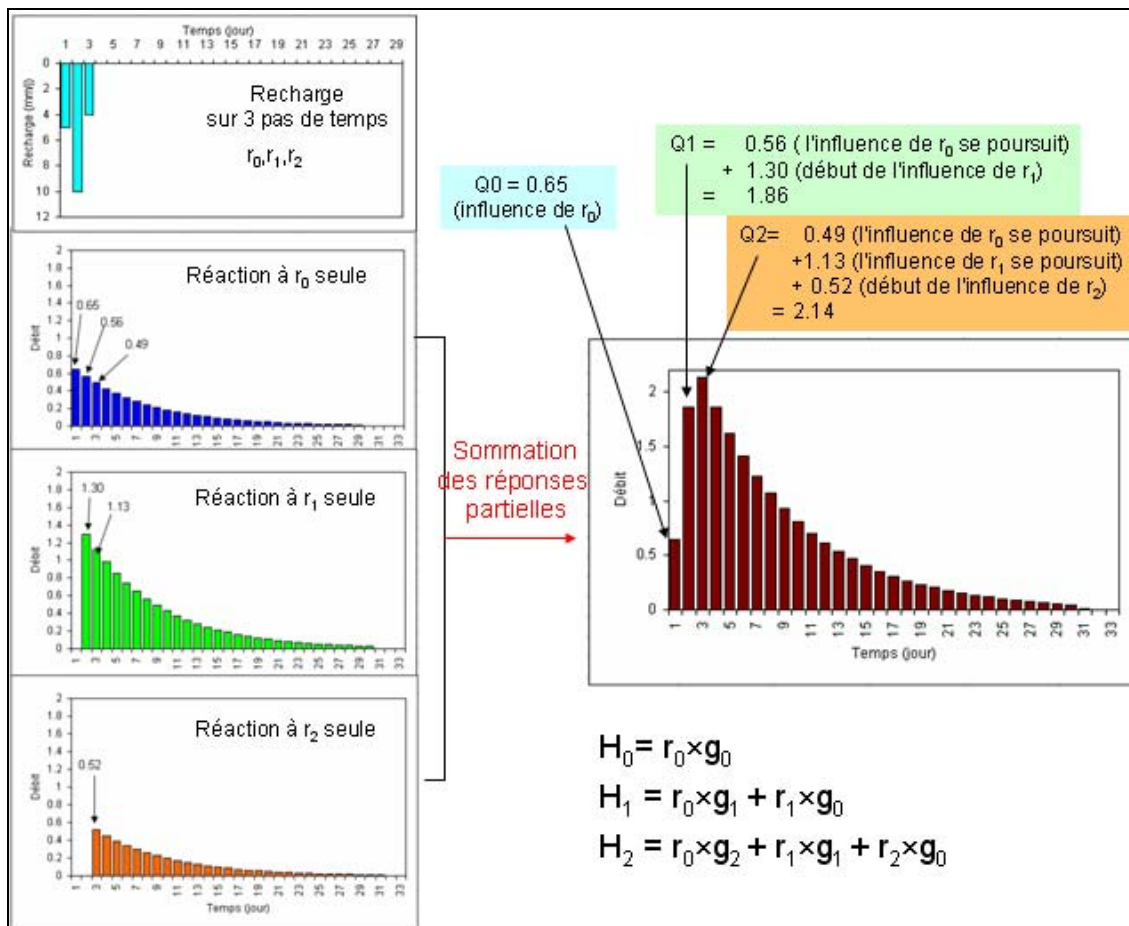


Illustration 54 - Autre exemple illustrant l'action de la fonction de transfert.

Chaque épisode de recharge, considéré isolément, provoque une réaction de la nappe. Dans l'exemple traité, la nappe réagit rapidement sans « temps retard ». Il y a une hausse rapide du niveau, puis une décroissance progressive qui se poursuit sur une vingtaine de jours.

Au premier pas de temps, comme dans l'exemple précédent, la hausse de niveau est : $H_0 = r_0 \cdot g_0$.

Au deuxième pas de temps, il faut tenir compte non seulement de l'influence de la recharge r_1 , mais aussi de la poursuite de l'influence de la recharge r_0 :

$$H_1 = r_0 \cdot g_1 + r_1 \cdot g_0$$

Au troisième pas de temps, il faut tenir compte non seulement de l'influence de la recharge r_2 , mais aussi de la poursuite de l'influence des recharges r_0 et r_1 :

$$H_2 = r_0 \cdot g_2 + r_1 \cdot g_1 + r_2 \cdot g_0$$

et ainsi de suite.

Généralisation

À chaque pas de temps, pour obtenir la sortie s du système (par exemple le débit à l'exutoire du bassin), on superpose donc, via la fonction de transfert, les effets des « entrées » du système (par exemple, la succession des recharges dans le temps), chacun de ces effets se prolongeant, en s'atténuant plus ou moins rapidement suivant l'inertie du système, au-delà de sa période de survenue. D'une façon générale, sur une période de temps où :

- le signal d'entrée est décomposé en une suite $e_0, e_1, e_2, e_3, \dots$;
- et la fonction de transfert en une suite $g_0, g_1, g_2, g_3, \dots$

La sortie du système est construite comme suit :

$s_0 = e_0 \cdot g_0$	$t = 0 \text{ à } \Delta t$
$s_1 = e_0 \cdot g_1 + e_1 \cdot g_0$	$t = \Delta t \text{ à } 2\Delta t$
$s_2 = e_0 \cdot g_2 + e_1 \cdot g_1 + e_2 \cdot g_0$	$t = 2\Delta t \text{ à } 3\Delta t$
$s_3 = e_0 \cdot g_3 + e_1 \cdot g_2 + e_2 \cdot g_1 + e_3 \cdot g_0$	$t = 3\Delta t \text{ à } 4\Delta t$
$s_4 = e_0 \cdot g_4 + e_1 \cdot g_3 + e_2 \cdot g_2 + e_3 \cdot g_1 + e_4 \cdot g_0$	$t = 4\Delta t \text{ à } 5\Delta t$
etc...	

Une seule fonction de transfert peut-elle suffire ?

En fait, les processus étant plus complexes (coexistence d'écoulements « lents » et « rapides ») et parfois non linéaires (effets de seuils, débordements), **plusieurs fonctions de transfert sont en général nécessaires** pour simuler au mieux un système hydrologique.

De même, **plusieurs entrées peuvent être introduites** dans le processus de modélisation : ainsi, un débit à l'exutoire d'un bassin peut être reproduit à partir d'une séquence de pluies et d'ETP et à partir d'une chronique de niveaux piézométriques, permettant par exemple de prendre en compte un soutien des débits d'étiage, ou plus généralement des échanges nappe-cours d'eau.

Une fois déterminée, les fonctions de transfert, les différentes contributions à l'écoulement global, à l'exutoire, sont calculées par le logiciel.

La prise en compte de plusieurs entrées rend plus complexe le système, mais les principes de modélisation restent identiques.

Comment la fonction de transfert est-elle calculée ?

Pour obtenir les valeurs $g_0, g_1, g_2, g_3, \dots$ inconnues, TEMPO propose deux possibilités :

- on donne à la fonction de transfert une forme générale *a priori* avec des paramètres inconnus. Une fois ces paramètres identifiés, on peut calculer $g_0, g_1, g_2, g_3, \dots$ sur les intervalles de temps considérés ;
- on recherche directement $g_0, g_1, g_2, g_3, \dots$

Dans les deux cas, des procédures complexes sont utilisées pour obtenir les valeurs de la fonction de transfert.

C'est la phase de calage (sur les observations) qui permet d'obtenir la fonction de transfert.

L'illustration propose un exemple correspondant à un calage sur des niveaux d'un aquifère présentant une double porosité : porosité de fissure et porosité matricielle.

Cette double porosité conduit à deux fonctions de transfert correspondant d'une part à un écoulement « rapide » empruntant les fissures et d'autre part à l'écoulement lent au sein de la porosité matricielle.

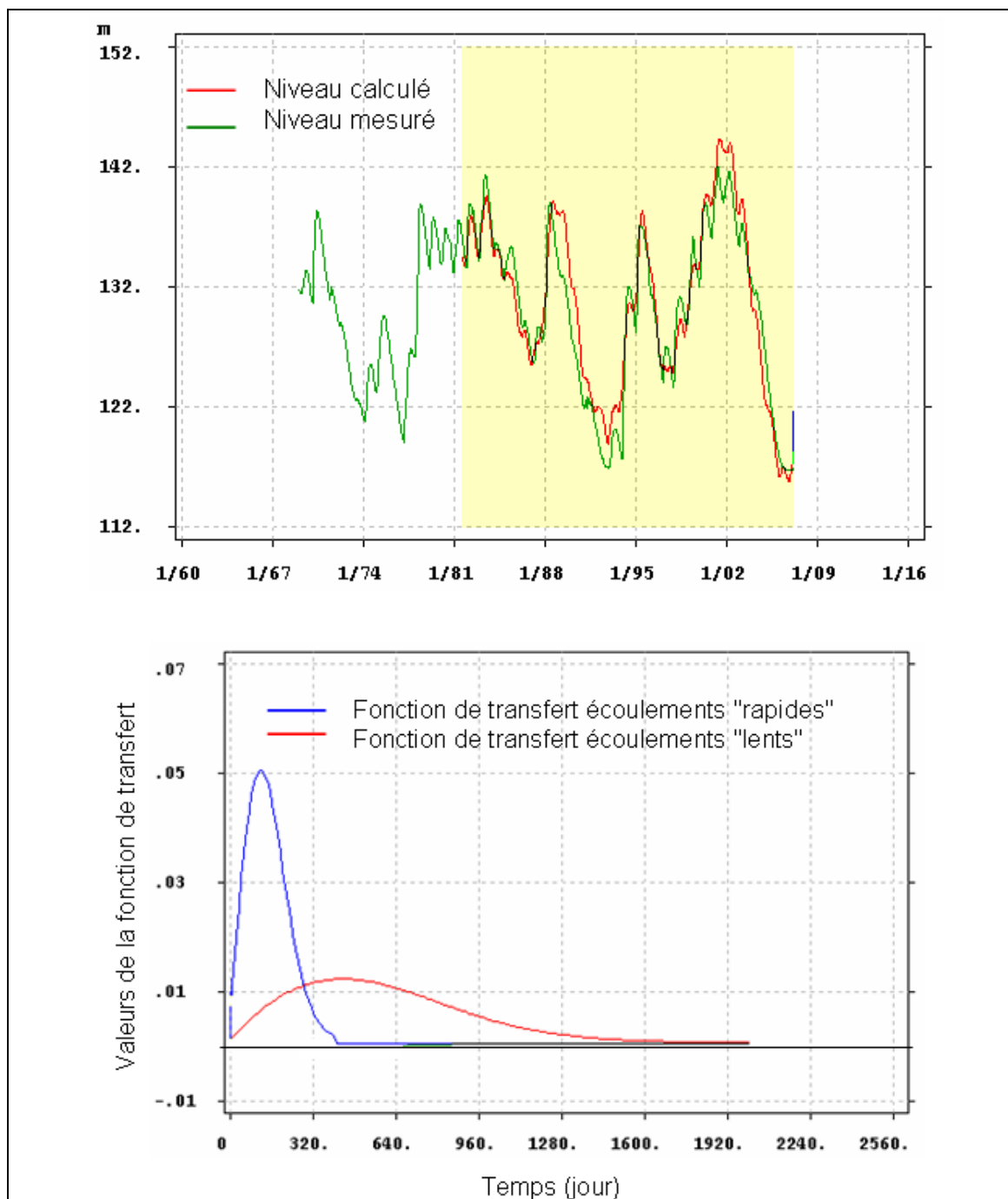


Illustration 55 - Exemple de résultats fournis par TEMPO après la phase de calage.

Fonctions de transfert utilisées dans le cadre de la Bièvre-Valloire

Pour chaque bassin modélisé, deux types de fonctions de transfert (FT) ont été introduites :

- la première permet de décrire la réponse du « *niveau piézométrique* » aux « *épisodes pluvieux* »,
- la seconde relie la « *chronique de débit* » (à l'exutoire) à deux entrées : (1) « *climatologique* » (P, ETP) et (2) « *piézométrique* ».

Annexe 3

Modélisation des piézomètres du bassin de Bièvre-Valloire - Logiciel TEMPO

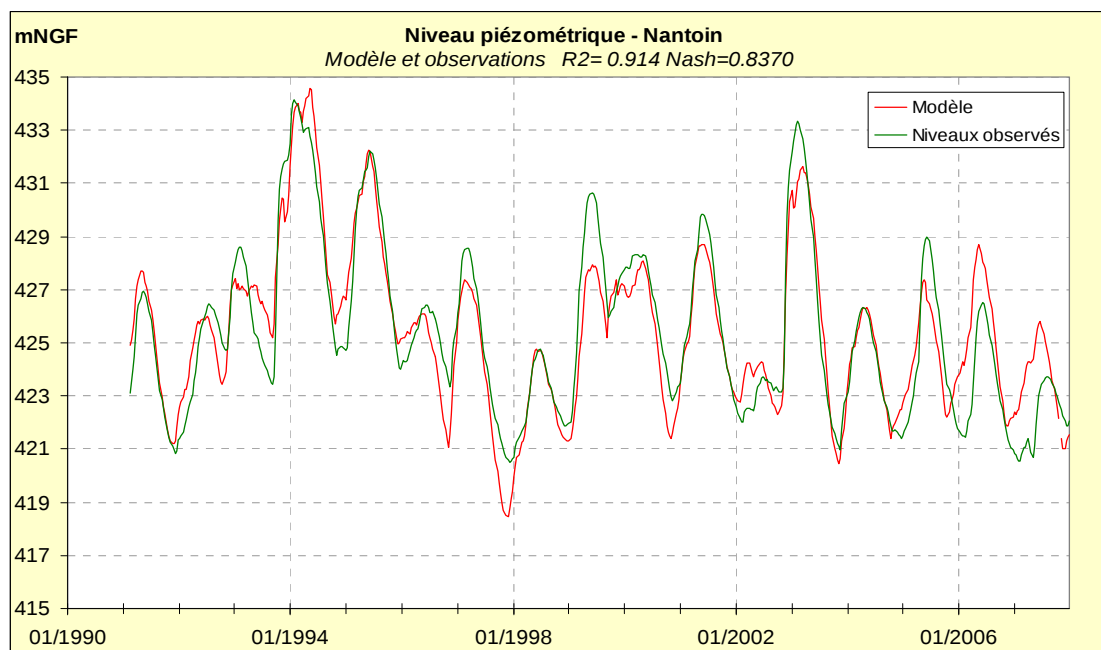


Illustration 56 - Modélisation du niveau piézométrique de Nantoin.

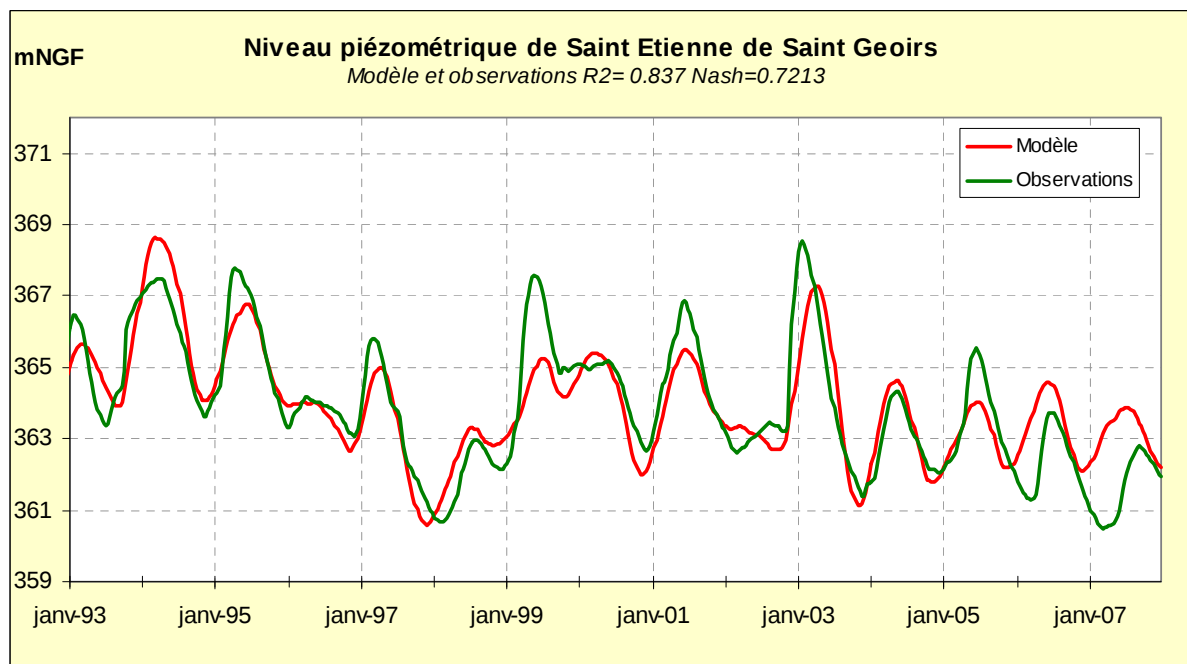


Illustration 57 - Modélisation du niveau piézométrique de Saint-Étienne-de-Saint-Geoirs – TEMPO.

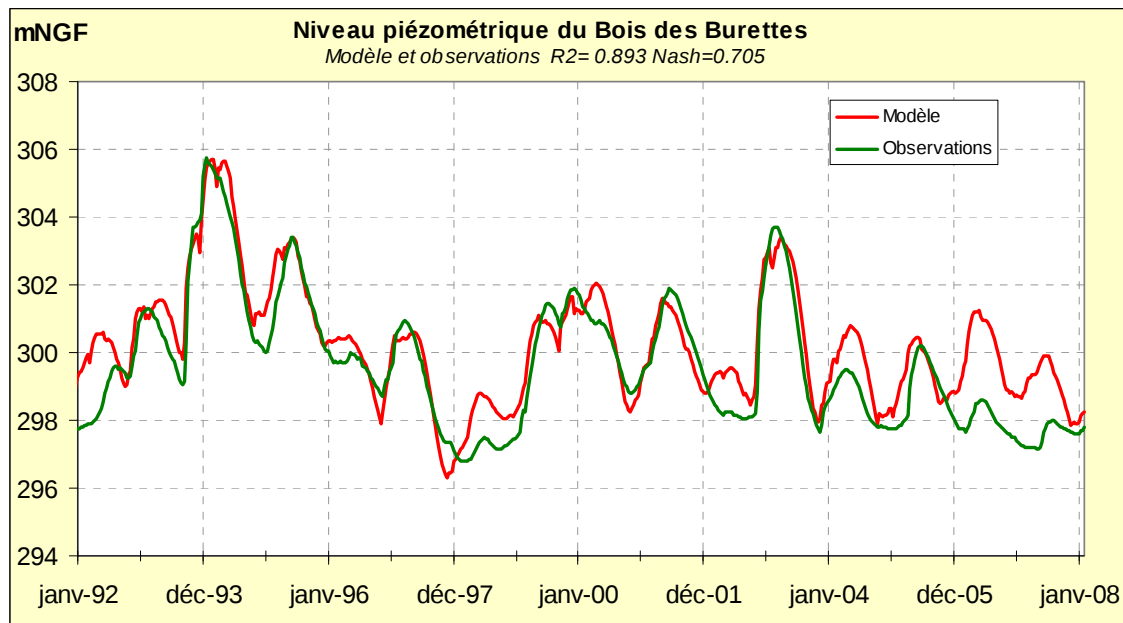


Illustration 58 - Modélisation du niveau piézométrique du bois des Burettes – TEMPO.

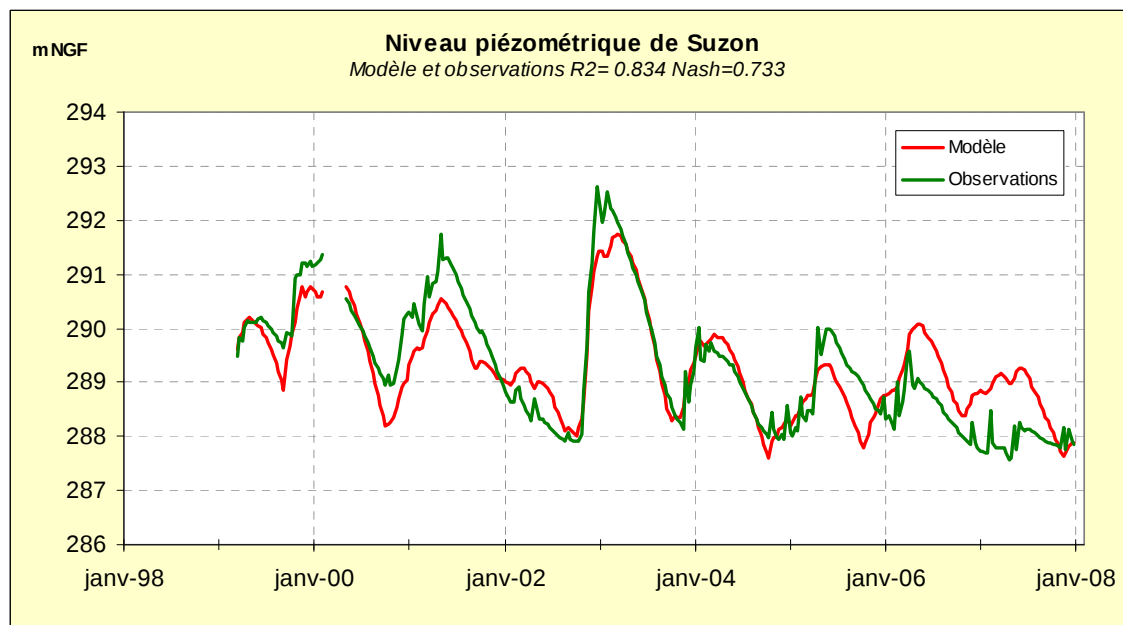


Illustration 59 - Modélisation du niveau piézométrique de Suzon – TEMPO.

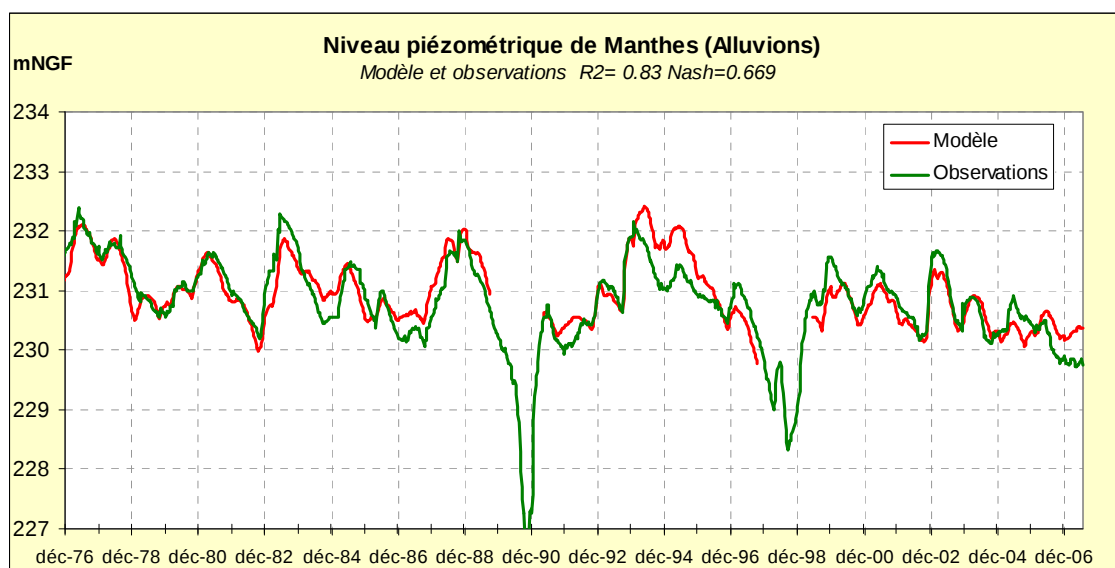


Illustration 60 - Modélisation du niveau piézométrique de Manthes (alluvions) – TEMPO.

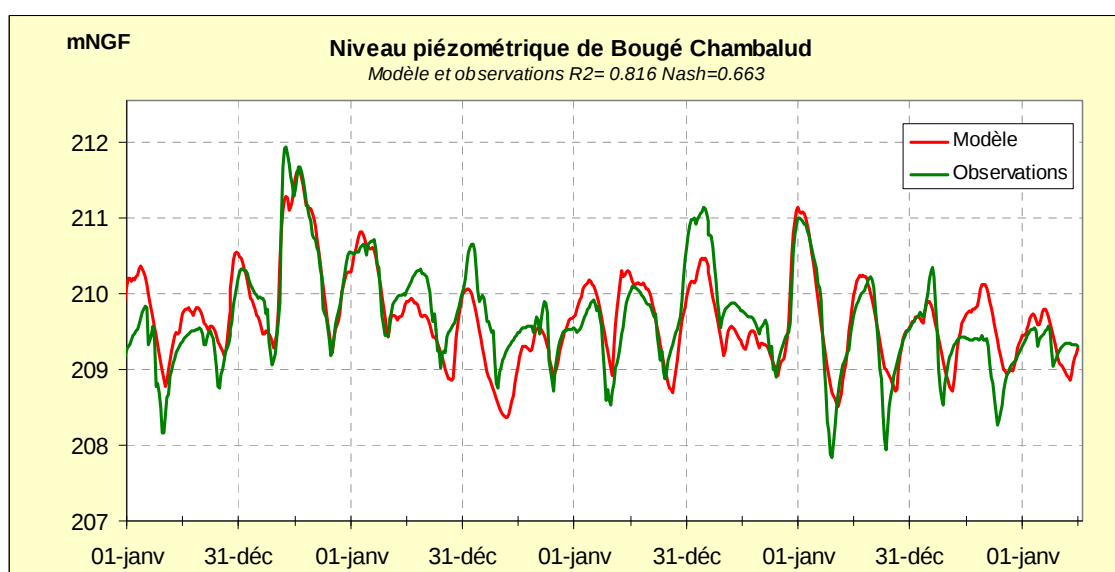
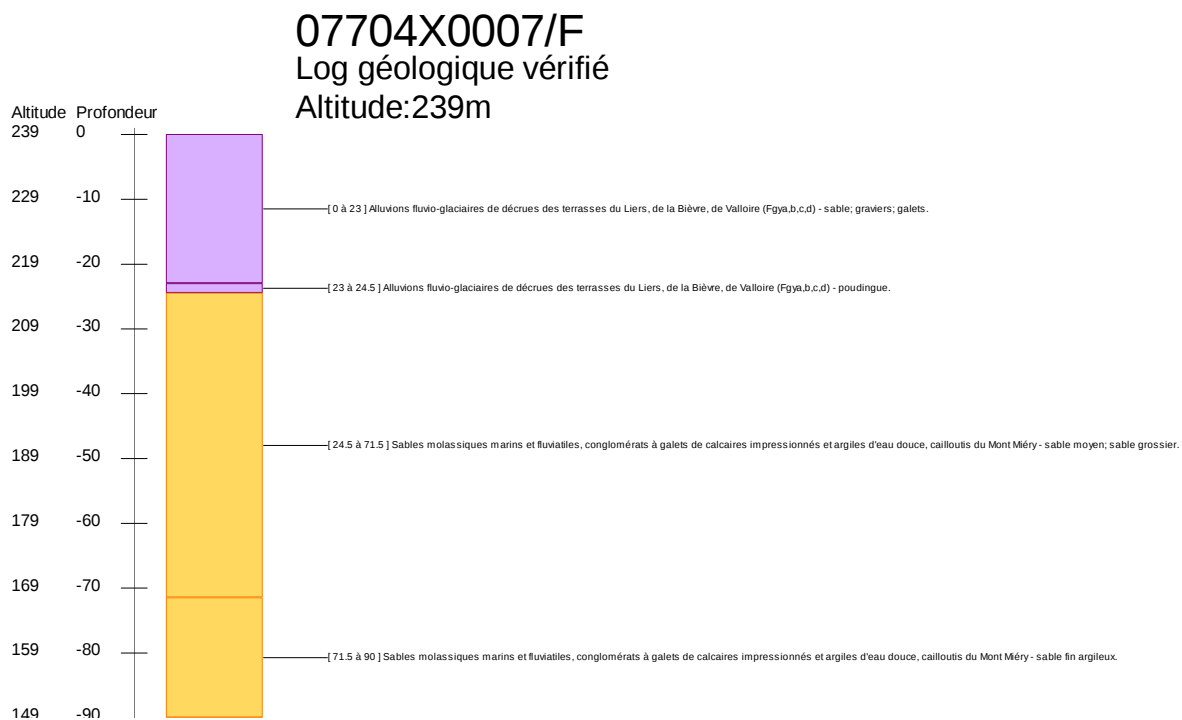


Illustration 61 - Modélisation du niveau piézométrique de Bougé-Chambalud – TEMPO.

Annexe 4

Log géologique du piézomètre de l’Ile à Manthes

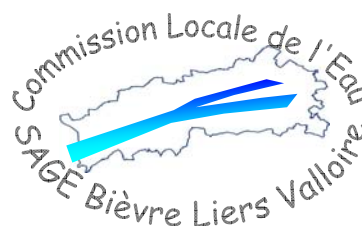


Annexe 5

Statistique des pluies efficaces d'hiver et des pluies d'été à la station météorologique de Météo-France de Grenoble - Saint-Geoirs (période 1974-2008)

HIVER		ETE	
Année hydrologique	Pluie efficace (mm)	Année	PLUIE_06_07_08
		1974	198,9
1974 - 1975	383,1	1975	247,0
1975 - 1976	414,9	1976	225,8
1976 - 1977	706,1	1977	345,4
1977 - 1978	390,1	1978	185,2
1978 - 1979	217,9	1979	208,3
1979 - 1980	408,9	1980	285,6
1980 - 1981	424,6	1981	221,5
1981 - 1982	190,9	1982	294,6
1982 - 1983	724,4	1983	112,5
1983 - 1984	209,9	1984	139,3
1984 - 1985	469,3	1985	248,7
1985 - 1986	253,8	1986	222,8
1986 - 1987	244,3	1987	318,3
1987 - 1988	615,3	1988	212,7
1988 - 1989	364,2	1989	119,7
1989 - 1990	90,2	1990	168,5
1990 - 1991	339,0	1991	163,6
1991 - 1992	305,0	1992	321,7
1992 - 1993	370,4	1993	303,2
1993 - 1994	712,0	1994	106,4
1994 - 1995	537,1	1995	100,2
1995 - 1996	241,4	1996	265,5
1996 - 1997	225,5	1997	203,8
1997 - 1998	160,8	1998	146,2
1998 - 1999	342,4	1999	188,0
1999 - 2000	343,5	2000	153,0
2000 - 2001	384,4	2001	230,6
2001 - 2002	140,9	2002	245,8
2002 - 2003	478,7	2003	165,4
2003 - 2004	346,5	2004	210,0
2004 - 2005	273,3	2005	169,2
2005 - 2006	248,6	2006	170,8
2006 - 2007	227,0	2007	242,6
2007 - 2008	138,6	2008	268,8
Statistiques 1974-2007 (mm)			
minimum	90,2	minimum	100,2
médiane	343,5	médiane	209,2
moyenne	357,1	moyenne	210,0
maximum	724,4	maximum	345,4

Comité technique de pilotage



*Direction Départementale
de la Drôme*



*Direction Départementale
de l'Isère*



Centre scientifique et technique
3, avenue Claude-Guillemain
BP 36009
45060 – Orléans Cedex 2 – France
Tél. : 02 38 64 34 34

Service géologique régional Rhône-Alpes
151, boulevard Stalingrad
69628 – Villeurbanne Cedex - France
Tél. : 04 72 82 11 50