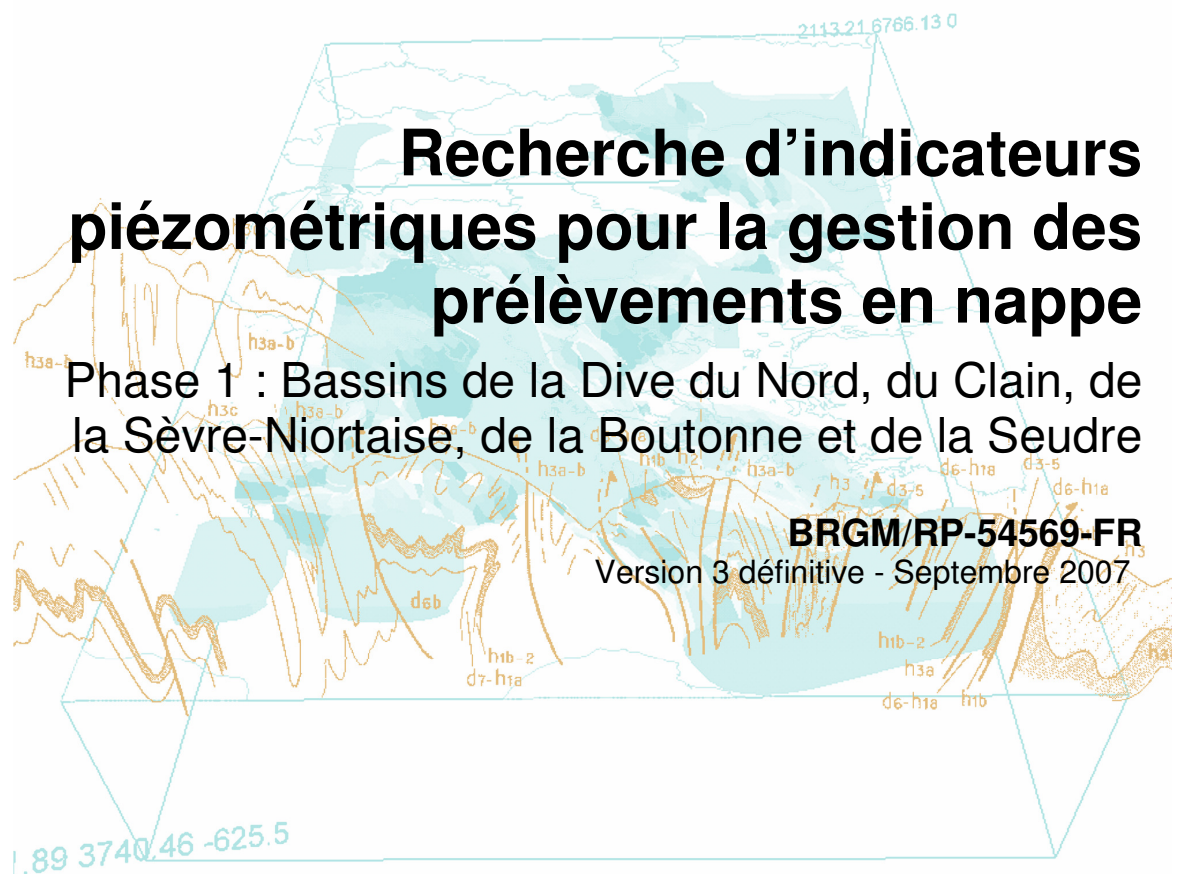




Recherche d'indicateurs piézométriques pour la gestion des prélèvements en nappe

Phase 1 : Bassins de la Dive du Nord, du Clain, de la
Sèvre-Niortaise, de la Boutonne et de la Seudre

BRGM/RP-54569-FR

Version 3 définitive - Septembre 2007

Étude réalisée dans le cadre des opérations
de Service public du BRGM 2005 05EAUF26

F. Bichot, J. Lavie, J.L. Pinault, M. Thinon-Larminach

Avec la collaboration de
S. Trouvé

Vérificateur :

Nom :

Date :

Signature :

Approbateur :

Nom :

Date :

Signature :



Direction Régionale de l'Environnement
POITOU-CHARENTES

Le système de management de la qualité du BRGM est certifié AFAQ ISO 9001:2000.



Mots clés : indicateur piézométrique, analyse du signal, gestion volumétrique, Boutonne, Dive, Clain, Sèvre Niortaise, Seudre, irrigation, débit rivière

En bibliographie, ce rapport sera cité de la façon suivante : Bichot F., Lavie J., Pinault JL., Thinon-Larminach M. avec la collaboration de Trouvé S. – Recherche d'indicateur piézométriques pour la gestion des prélèvements en nappe. Phase 1 : Bassins de la Dive du Nord, du Clain de la Sèvre Niortaise, de la Boutonne et de la Seudre. BRGMM/RP-54569-FR, 220 p., 199 ill., 2 ann., 12 planches hors texte

Préambule

Ce travail a été conduit en 2005 et 2006 et a fait l'objet d'un premier rapport provisoire (Version 1) en date de juin 2006 et répondant au cahier des charges rappelé en introduction. Ce premier travail a été présenté et le rapport soumis à l'avis des DDAF et de la DIREN durant l'été 2006.

Cette première phase d'échanges a conduit d'une part à expliquer la démarche et le fonctionnement de l'outil informatique TEMPO et d'autre part à préciser les attentes des gestionnaires. Elle a abouti aussi à définir un programme d'expertises de l'étude et de diffusion des résultats. Une seconde version, en date de novembre 2006, tenant compte de la plupart des remarques des MISE(s) et de la DIREN, a été soumise à l'avis d'un premier collège d'experts universitaires des universités de Bordeaux et de Poitiers. Cette seconde version différait de la première surtout sur la forme par le développement de la méthodologie et sur le fond par le calcul systématique des courbes « 5 ans secs » permettant de compléter le tableau figurant en conclusion.

Les 3 experts universitaires ont remis leur rapport en janvier 2007 (cf. Annexe 3). Le BRGM a répondu en février 2007 aux principales interrogations de ces experts (cf. Annexe 4).

Une seconde expertise a été lancée au cours du printemps 2007 à travers la consultation de 5 experts hydrogéologues. Ce troisième avis a été remis en juin 2007 (cf. Annexe 5). Une réunion a été organisée par la DIREN le 20 juin entre les experts hydrogéologues et le BRGM. Cette réunion a permis d'apporter certains des éclaircissements et précisions demandés par les experts (cf. Compte-rendu en Annexe 6).

Cette dernière version du rapport en date de septembre 2007 intègre les principales remarques de ces expertises, du moins celles qui restent dans le cadre de la demande initiale. Des corrections ont été apportées au texte d'une part, un tableau de synthèse des équations « pluies » utilisées pour chaque bassin versant a été ajouté en annexe 2 d'autre part. Ce dernier point a en effet été soulevé plusieurs fois au cours des divers échanges.

Des réponses sont aussi apportées à travers les documents réalisés parallèlement :

- l'étude relative au bassin versant de la Charente, éditée en juin en version provisoire (RP-55485-FR), qui a permis d'affiner la méthodologie (notamment en travaillant sur les fonctions « pompage » et en introduisant des fonctions « lâchers ») et de mieux répondre aux attentes des gestionnaires ;

- la note méthodologique (RP-55348-FR),

- la plaquette en cours de réalisation destinée à faciliter une large communication.

Enfin et surtout, la phase 3 en cours conduit d'une part à la modélisation des bassins versants restants et d'autre part à actualiser les bassins versants réalisés en phase 1. Tous les piézomètres disponibles dans le réseau régional seront analysés dans ce cadre, ce qui n'était pas le cas en phase 1, et tous les modèles (nappe et rivière) seront recalés avec les données depuis 2005, voire précisés de manière à tenir compte de l'expérience acquise dans la compréhension des phénomènes depuis le traitement de la phase 1. Certains chiffres (volumes disponibles notamment) pourraient s'en trouver modifiés. Parallèlement des réponses complémentaires seront apportées, en particulier en testant plusieurs scénarios de prélèvements (questions soulevées par les hydrogéologues).

Synthèse

Ce travail a été demandé par la DIREN au BRGM afin de rechercher des modalités de gestion des prélèvements en eaux souterraines mieux adaptées. Il couvre à peu près la moitié des grands bassins versants de la région Poitou-Charentes soit : la Dive du Nord, le Clain, la Sèvre Niortaise, la Boutonne et la Seudre. Il fait suite à un premier travail de synthèse sur les relations nappe/rivière par bassin versant réalisé en 2004/2005.

Il combine deux approches : une analyse "naturaliste", qui conduit surtout à la délimitation de zones de gestion basées sur les bassins versants hydrogéologiques des principaux cours d'eau, et l'utilisation d'un logiciel (TEMPO) de traitement du signal développé par le BRGM.

Les zones de gestion proposées sont au nombre de deux pour la Dive du Nord (superficiel et nappes profondes), de sept (voire de huit) sur le Clain (Pallu, Auxance, Boivre, Vonne, Dive, Bouleure, Clain amont moyen, Clouère/Miosson (Sarzec)), de trois pour la Sèvre Niortaise (amont, moyenne et aval), de trois pour la Boutonne (Dogger, Infra-Toarcien et Boutonne moyenne aval) et d'une pour la Seudre/rive droite de la Gironde/Brouage.

L'analyse informatique a porté sur la modélisation de 45 chroniques piézométriques du réseau régional choisis principalement en fonction de leur répartition géographique et de leur longueur. Dix-sept piézomètres sont proposés au final comme indicateur de l'état de la ressource souterraine.

Les chroniques de débit des cours d'eau ont également été modélisées. Les modèles des piézomètres comme des débits permettent de mettre en évidence de nombreux phénomènes en marge des objectifs de l'étude : pertes de la rivière, alimentation des nappes par les rivières, débordement de la nappe en hautes eaux, impact des prélèvements.

Utilisés en simulation ces modèles permettent de reconstituer des évolutions "pseudo-naturelles" (les prélèvements non saisonniers étant implicitement intégrés dans les modèles) du niveau des nappes comme des débits des rivières. Le générateur de pluie du logiciel permet de construire des simulations sur un grand nombre de « réalisations climatiques » et d'en déduire des évolutions de débits ou de niveaux pour différentes périodes de retour.

Les courbes théoriques d'évolution de la piézométrie, correspondant aux objectifs de gestion sur la rivière, peuvent être utilisées pour fixer des seuils. Enfin, ce travail conduit aussi à approcher des volumes théoriquement disponibles en fonction de l'état de la ressource et d'un plan de prélèvements.

Cette approche scientifique, qui vise à mieux cerner les disponibilités en eaux souterraines, et les propositions de gestion qui en découlent, sont destinées à venir

alimenter les réflexions et les débats actuels sur la gestion des ressources. La prochaine étape serait de traiter les autres bassins versants régionaux : Charente, Vienne, Gartempe, Thouet.

Sommaire

1	Introduction	21
2	Méthodologie.....	23
2.1	DELIMITATION DES ZONES DE GESTION	23
2.2	ANALYSE DU CONTEXTE DU PIEZOMETRE	23
2.3	AFFECTATION DES POINTS D'EAU A DES ZONES.....	24
2.4	MODELISATION AVEC TEMPO	24
2.5	INTEGRATION DES PRELEVEMENTS POUR L'AGRICULTURE	34
3	Bassin de la Dive du Nord	37
3.1	CONTEXTE GEOLOGIQUE ET HYDROGEOLOGIQUE.....	37
3.2	SYNTHESE DE LA MODELISATION	42
3.3	SYNTHESE	51
4	Le bassin versant du Clain	53
4.1	CONTEXTE GEOLOGIQUE ET HYDROGEOLOGIQUE.....	53
4.2	SYNTHESE DE LA MODELISATION	58
4.2.1	Sous bassin de la Pallu	58
4.2.2	Sous bassin de l'Auxance	68
4.2.3	Sous bassin de la Boivre	77
4.2.4	Sous bassin de la Vonne.....	84
4.2.5	Sous bassin de la Dive du sud et de la Bouleure.....	92
4.2.6	Sous bassin du Clain moyen et amont	103
4.2.7	Sous-bassin de la Clouère / Miosson / Sarzec	113
4.3	SYNTHESE.....	123
5	Bassin de la Sèvre Niortaise	127
5.1	CONTEXTE GEOLOGIQUE ET HYDROGEOLOGIQUE.....	127
5.2	SYNTHESE DE LA MODELISATION	131

5.2.1 La Sèvre amont	131
5.2.2 La Sèvre entre la Tiffardière et Pont de Ricou	143
5.2.3 La Sèvre entre la mer et la Tiffardière.....	155
5.3 SYNTHÈSE	167
6 Bassin de la Boutonne.....	169
6.1 CONTEXTE GÉOLOGIQUE ET HYDROGÉOLOGIQUE.....	169
6.2 SYNTHÈSE DE LA MODÉLISATION	173
6.3 SYNTHÈSE	191
7 Bassin de la Seudre	193
7.1. CONTEXTE GÉOLOGIQUE ET HYDROGÉOLOGIQUE.....	193
7.2. SYNTHÈSE DE LA MODÉLISATION	197
7.3 SYNTHÈSE	209
8 Conclusion.....	211

Liste des illustrations

illustration 1 : Organigramme d'un modèle de transfert non-linéaire.	26
illustration 2 : L'environnement EXCEL.....	27
illustration 3 : Prévion à long terme (piézomètre non influencé).....	27
illustration 4 : Prévion à court terme (processus autorégressif).....	28
illustration 5 : Fonction pompage introduite pour la modélisation de Puzé1	29
illustration 6 : Schéma illustrant les 2 grands types de réponse à une pluie dans des formations sédimentaires.....	30
illustration 7 : analyse impulsionnelle sur la composante lente : paramètres utilisés pour caractériser l'inertie du système	31
illustration 8 : Principe de calcul du volume disponible	33
illustration 9 : Carte géologique du bassin de la Dive du Nord.....	39
illustration 10 : Synthèse hydrogéologique du bassin versant de la Dive	40
illustration 11 : Zones de gestion et prélèvements 2003 sur le bassin de la Dive (Dive superficielle).....	41

illustration 12 : Comparaison de l'évolution des niveaux enregistrés sur Cuhon 1 (Dogger) et 2 (Jurassique sup.) [source des données : Conseil Régional/ORE]	43
illustration 13 : Modélisation du piézomètre de Cuhon1 (Dogger) avant prise en compte des débordements et des pompages (cf. annexe II)	44
illustration 14 : Modélisation du piézomètre de Lamoinie (Dogger) : calage du modèle entre 1993 et fin 2004, simulation avec des pluies réelles sur 2005/début 2006.	44
illustration 15 : Valeurs de débits mesurées en 2005 à la station de Retournay.	46
illustration 16 : Résultat du calage des débits au Moulin de Retournay	47
illustration 17 : Contribution des écoulements rapides (karst), des circulations lentes dans le réservoir souterrain du Dogger (Lamoinie) en rive gauche et des ruissellements superficiels (O_BV_Dive) au débit de la Dive à Moulin de Retournay.	47
illustration 18 : Valeurs par pas de temps des débits à Moulin de Retournay	48
illustration 19 : Valeurs par pas de temps des niveaux à Lamoinie.	48
illustration 20 : Comparaison des débits mesurés à Moulin de Retournay et des débits calculés par le modèle.	49
illustration 21 : Comparaison des niveaux mesurés à Lamoinie et des niveaux calculés	49
illustration 22 : Volumes disponibles calculés à partir des courbes théoriques d'évolution données par le modèle (Dive superficiel), comparaison avec les historiques de prélèvements constitués à partir des fichiers DDAF et AEP)	50
illustration 23 : Carte géologique du bassin topographique du Clain (cf. annexe 1 pour la légende).	56
illustration 24 : Synthèse hydrogéologique du bassin du Clain, contours des unités de gestion.	57
illustration 25 : Comparaison des niveaux de Puzé1 (Jurassique sup.) et 2 (Dogger)	59
illustration 26 : Modélisation du piézomètre de Puzé1 (Dogger) : calage du modèle entre 1993 et fin 2004 (avant prise en compte d'un seuil de débordement), simulation avec des pluies réelles sur 2005/début 2006.	59
illustration 27 : Modélisation du piézomètre de Puzé2 (Dogger), avec introduction d'une fonction pompage.	60
illustration 28 : Modélisation du piézomètre de Chabournay (Jurassique supérieur) après introduction d'un seuil de débordement	60
illustration 29 : Valeurs calculées par le modèle pour les 3 piézomètres étudiés pour des évolutions théoriques à période de retour d'une année sur 2 (médiane) et d'une année sur 40 (en référence à la Dive du Nord).	62
illustration 30 : Valeurs par pas de temps des niveaux (en m NGF) calculées pour différentes périodes de retour (simulations non conditionnelles) pour le piézomètre de Puzé 1	62
illustration 31 : Comparaison des valeurs mesurées et des courbes théoriques une année sur 2 et 1 année sur 40 pour Puzé1.	63
illustration 32 : Valeurs par pas de temps des niveaux (en m NGF) calculées pour différentes périodes de retour (simulations non conditionnelles) pour le piézomètre de Puzé 2	63

illustration 33 : Comparaison des valeurs mesurées et des courbes théoriques une année sur 2 et 1 année sur 40 pour Puzé2	64
illustration 34 : Valeurs par pas de temps des niveaux (en m NGF) calculées pour différentes périodes de retour (simulations non conditionnelles) pour le piézomètre de Chabournay	64
illustration 35 : comparaison des valeurs mesurées et des courbes théoriques une année sur 2 et 1 année sur 40 pour Chabournay.....	65
illustration 36 : Volumes disponibles calculés en rapportant les chiffres donnés par les modèles pour la Dive du Nord (bassin versant de la station de Retournay) au bassin versant de la Pallu ; partie inférieure : historique des prélèvements.....	66
illustration 37 : Carte de la densité des prélèvements agricoles + ½ AEP sur le sous bassin de la Pallu.....	67
illustration 38 : Modélisation du piézomètre de Villiers (Dogger) : calage du modèle (en rouge) avec la chronique (en vert) entre 1993 et début 2006 [seuil de débordement mais pas de fonction prélèvements introduite]	68
illustration 39 : Modélisation du piézomètre de la Raudière.....	70
illustration 40 : Modélisation du débit de la rivière en intégrant l'évolution au piézomètre de Villiers	70
illustration 41 : Reconstitution par le modèle des différentes composantes du débit de la rivière	71
illustration 42 : Valeurs de niveaux à Villiers et de débits à Quinçay obtenues sur les courbes théoriques médiane et 10 ans secs	72
illustration 43 : Valeurs par pas de temps des débits calculés (en m ³ /s) pour différentes périodes de retour (simulations non conditionnelles) pour la station de Quinçay.....	73
illustration 44 : Valeurs par pas de temps des niveaux calculés (en m NGF) pour différentes périodes de retour (simulations non conditionnelles) pour le piézomètre de Villiers	73
illustration 45 : Comparaison des historiques à la station de Quinçay avec les courbes théoriques obtenues avec le modèle et correspondant aux DOE et DCR.....	74
illustration 46 : Comparaison des historiques au piézomètre de Villiers avec les niveaux théoriques obtenus avec le modèle et correspondant aux DOE et DCR à Quinçay.....	74
illustration 47 : Volumes disponibles calculés à partir du modèle de la station de Quinçay, historiques des prélèvements depuis 2000	75
illustration 48 : Densité des prélèvements 'agricoles + AEP/2 du printemps et de l'été sur le bassin versant de l'Auxance	76
illustration 49 : Modélisation de la chronique du piézomètre l'Abbaye.....	77
illustration 50 : Modélisation du débit de la rivière Boivre à la Ribalière	78
illustration 51 : Composantes du débit de la rivière à la Ribalière	78
illustration 52 : Niveaux et débits donnés par le modèle pour des périodes de retour correspondant au DOE et plus approximativement au DCR.....	79
illustration 53 : Valeurs par pas de temps des débits calculés(en m ³ /s) pour différentes périodes de retour (simulations non conditionnelles) pour la station de la Ribalière	80

illustration 54 : Valeurs par pas de temps des niveaux calculés (en m NGF) pour différentes périodes de retour (simulations non conditionnelles) pour le piézomètre de l'Abbaye.....	80
illustration 55 : Comparaison des courbes théoriques d'évolution vers le DOE et le DCR avec la chronique de débit de la Ribalière	81
illustration 56 : Comparaison des courbes théoriques des niveaux sur le piézomètre de l'Abbaye avec la chronique de mesures	81
illustration 57 : Volumes disponibles calculés à partir du modèle de la station de la Ribalière, historiques des prélèvements depuis 2000 sur le bassin de la Boivre	82
illustration 58 : Répartition des prélèvements printaniers et estivaux sur le bassin versant de la Boivre	83
illustration 59 : Modélisation de la chronique de Cagnoche	85
illustration 60 : Niveaux et débits donnés par le modèle pour des périodes de retour correspondant au DOE et au DCR	86
illustration 61 : Modélisation de la chronique de débit de Cloué sur la Vonne avec en entrée la station de Cagnoche.	86
illustration 62 : Composantes du débit sur la Vonne à partir du modèle réalisé avec Cagnoche en entrée.....	87
illustration 63 : Valeurs par pas de temps des débits (en m ³ /s) calculés pour différentes périodes de retour (simulations non conditionnelles) pour la station de Cloué.	87
illustration 64 : Superposition des courbes théoriques correspondant au DOE (10 ans secs) et DCR (40 ans secs) avec la chronique de Cloué	88
illustration 65 : Valeurs par pas de temps des niveaux (en m NGF) calculées pour différentes périodes de retour (simulations non conditionnelles) pour le piézomètre de Cagnoche.....	88
illustration 66 : Superposition des courbes théoriques correspondant au DOE (10 ans secs) et DCR (40 ans secs) sur Cloué avec la chronique piézométrique de Cagnoche	89
illustration 67 : Volumes disponibles calculés à partir du modèle de la station de Cloué, historiques des prélèvements en nappe depuis 2000 sur le bassin de la Vonne.....	90
illustration 68 : Répartition des prélèvements sur le bassin versant de la Vonne	91
illustration 69 : Modélisation de la chronique piézométrique de Couhé1 (Dogger)	93
illustration 70 : Modélisation de la chronique piézométrique de Couhé 2 (Infra-Toarcien)	93
illustration 71 : Comparaison des chroniques de Couhé 1 et de Couhé 2	94
illustration 72 : Niveaux et débits donnés par le modèle pour des périodes de retour correspondant au DOE et au DCR	95
illustration 73 : Modélisation du débit de la rivière à Voulon avec en entrée le piézomètre de Couhé 1	96
illustration 74 : Composantes du débit de la rivière à Voulon avec en entrée le piézomètre de Couhé1	96
illustration 75 : Modélisation du débit de la rivière à Voulon avec en entrée le piézomètre de Couhé 2.....	97

illustration 76 : Composantes du débit de la rivière à Voulon avec en entrée le piézomètre de Couhé2	97
illustration 77 : Courbes théoriques d'évolution du débit à Voulon en fonction des périodes de retour.....	98
illustration 78 : superposition des courbes théoriques correspondant au DOE et DCR avec la chronique de Voulon	98
illustration 79 : Courbes théoriques d'évolution des niveaux au piézomètre de Couhé1 en fonction des périodes de retour.	99
illustration 80 : Superposition des courbes théoriques correspondant au DOE et DCR avec la chronique piézométrique de Couhé1	99
illustration 81 : Volumes disponibles calculés pour la zone de gestion Dive/Bouleure à partir du modèle par rapport aux objectifs DOE et DCR ; historique des prélèvements agricoles et AEP.	101
illustration 82 : Densité des prélèvements pour l'unité de gestion Dive/Bouleure.....	102
illustration 83 : Modélisation de la chronique piézométrique de St-Romain (Dogger)	104
illustration 84 : Modélisation de la chronique des Saizines (Infra-Toarcien)	104
illustration 85 : Evolution théorique des niveaux sur le piézomètre de St-Romain et des débits sur la station de Petit-Allier pour les périodes de retour 3 ans secs (proche du DOE) et 10 ans secs (proche du DCR).	106
illustration 86 : Modélisation du débit du Clain à Petit-Allier avec en entrée St-Romain (Dogger) et la station de Voulon.	106
illustration 87 : décomposition des contributions au débit du Clain avec en entrée Voulon et St-Romain.....	107
illustration 88 : Modélisation du débit du Clain à Petit-Allier avec en entrée Saizines (Infra-Toarcien) et la station de Voulon.	107
illustration 89 : Décomposition des contributions au débit du Clain avec en entrée Voulon et Saizines	108
illustration 90 : Valeurs par pas de temps des débits calculés (en m ³ /s) pour différentes périodes de retour (simulations non conditionnelles) pour la station de Petit-Allier.....	108
illustration 91 : Comparaison des courbes théoriques DOE (3 ans secs) et DCR (10 ans secs) avec la chronique de mesures (en m ³ /s).	109
illustration 92 : Valeurs par pas de temps des niveaux calculés (en m NGF) pour différentes périodes de retour (simulations non conditionnelles) pour le piézomètre de St-Romain.....	109
illustration 93 : Comparaison des courbes théoriques DOE (3 ans secs) et DCR (10 ans secs) avec la chronique de mesures (en m NGF).....	110
illustration 94 : Volumes disponibles calculés pour la zone de gestion Clain amont/moyen à partir du modèle par rapport aux objectifs DOE et DCR ; historique des prélèvements agricoles et AEP.	111
illustration 95 : Densité des prélèvements pour l'unité de gestion Clain amont et moyen	112
illustration 96 : Modélisation du piézomètre de Petit-Dauffard.....	114
illustration 97 : Modélisation du piézomètre de Sarzec	114

illustration 98 : Parts des différentes composantes de la chronique de Petit-Dauffard modélisée	115
illustration 99 : Evolution théorique des niveaux sur le piézomètre de Petit-Dauffard et des débits sur la station de Château-Larcher pour les périodes de retour 1 année sur 2 (proche du DOE) et 5 ans secs (proche du DCR).	116
illustration 100 : Modélisation du débit de la Clouère à Château-Larcher avec en entrée le modèle du piézomètre de Petit-Dauffard	117
illustration 101 : Composante de débit de la Clouère à Château Larcher	117
illustration 102 : Valeurs par pas de temps des débits calculés (en m ³ /s) pour différentes périodes de retour (simulations non conditionnelles) pour la station de Château Larcher	118
illustration 103 : Comparaison des courbes théoriques DOE (médiane) et DCR (5 ans secs) avec la chronique de mesures (en m NGF).	118
illustration 104 : Valeurs par pas de temps des niveaux calculés (en m NGF) pour différentes périodes de retour (simulations non conditionnelles) pour le piézomètre de Petit-Dauffard	119
illustration 105 : Comparaison des courbes théoriques DOE (médiane) et DCR (5 ans secs) avec la chronique de mesures (en m NGF).	119
illustration 106 : Volumes disponibles calculés pour la zone de gestion Clouère-Miosson-Sarzec à partir du modèle par rapport aux objectifs DOE et DCR ; historique des prélèvements agricoles et AEP	120
illustration 107 : Répartition de la densité des prélèvements dans la zone de gestion Clouère-Miosson-Sarzec.....	121
illustration 108 : Carte géologique du bassin versant (étendu au bassin hydrogéologique amont) de la Sèvre Niortaise (partie en Poitou-Charentes uniquement)	129
illustration 109 : Hydrogéologie du bassin de la Sèvre Niortaise, unités de gestion proposées (contours rouges)	130
illustration 110 : Modélisation du piézomètre de St-Coutant.	132
illustration 111 : Décomposition des contributions au niveau piézométrique de St-Coutant.....	132
illustration 112 : Modélisation de la chronique de Fontgrive à l'Infra-Toarcien.....	133
illustration 113 : Réponse impulsionnelle de la composante lente observée sur Fontgrive	133
illustration 114 : Ecart maximum relevés entre le modèle et la chronique en période de basses eaux (Août-Septembre), en m ³ /s	134
illustration 115 : Evolution théorique des niveaux piézométriques et des débits calculés par les modèles pour une période de retour de 1 année sur 5.....	135
illustration 116 : Modélisation de la chronique du Pont-de-Ricou avec en entrée les piézomètres de Fontgrive et de St-Coutant	135
illustration 117 : Agrandissement du graphe ci-dessus mettant en évidence l'impact des pompes.....	136
illustration 118 : Réponse impulsionnelle des différentes contributions au débit de la rivière à Pont de Ricou	136

illustration 119 : Contribution des différentes composantes au débit de la rivière	137
illustration 120 : Valeurs par pas de temps des débits (en m ³ /s) calculés pour différentes périodes de retour (simulations non conditionnelles) pour la station de Pont de Ricou.....	137
illustration 121 : Comparaison de la courbe théorique 5 ans secs (1 année sur 5) avec la chronique réelle.	138
illustration 122 : Valeurs par pas de temps des niveaux (en m NGF) calculés pour différentes périodes de retour (simulations non conditionnelles) pour le piézomètre de Fontgrive (Infra-Toarcien)	138
illustration 123 : Comparaison de la courbe théorique 5 ans secs (1 année sur 5) avec la chronique de mesures (en m NGF)	139
illustration 124 : Valeurs par pas de temps des niveaux (en m NGF) calculés pour différentes périodes de retour (simulations non conditionnelles) pour le piézomètre de St-Coutant (Dogger)	139
illustration 125 : Comparaison de la courbe théorique 5 ans secs (1 année sur 5) avec la chronique de mesures (en m NGF)	140
illustration 126 : Volumes disponibles calculés pour la zone de gestion de la Sèvre amont par rapport aux objectifs DOE et DCR ; historiques récents des prélèvements agricoles et AEP en nappe	141
illustration 127 : Répartition de la densité des prélèvements dans la zone de gestion Sèvre amont.	142
illustration 128 : Modélisation de la chronique du piézomètre de Breuil	144
illustration 129 : Décomposition des contributions au niveau piézométrique de Breuil	144
illustration 130 : Modélisation de la chronique de St-Gelais.....	145
illustration 131 : Réponse impulsionnelle de la composante lente sur St-Gelais.....	145
illustration 132 : Modélisation du piézomètre de Niort (Grange Verrine)	146
illustration 133 : Décomposition des différentes contributions au niveau du piézomètre de Niort	146
illustration 134 : Comparaison des chroniques d'Aiffres au Dogger (2) et à l'Infra-Toarcien (1)	147
illustration 135 : Modélisation de la chronique de la Tiffardière avec en entrée les piézomètres de St-Gelais et de Niort, et la station de pont-de-Ricou	148
illustration 136 : Composantes du débit à la Tiffardière.	149
illustration 137 : Valeurs par pas de temps des débits calculés pour différentes périodes de retour (simulations non conditionnelles) pour la station de la Tiffardière (DSA : proche de 3 ans humides, DCR : proche de 3 ans secs, DCR proposé : 10 ans secs)	149
illustration 138 : Comparaison des courbes de référence données par le modèle (pour DSA, DCR et DCR proposé) avec la chronique de la Tiffardière.	150
illustration 139 : Valeurs par pas de temps des niveaux calculés pour différentes périodes de retour (simulations non conditionnelles) pour St Gelais (DSA : proche de 3 ans humides, DCR : proche de 3 ans secs, DCR proposé : 10 ans secs).....	150

illustration 140 : Comparaison des courbes théoriques (DSA, DCR, DCR proposé) avec les chroniques observées	151
illustration 141 : Correspondance entre les graphes obtenus par simulation et analyse statistique pour les périodes de retour correspondant au DSA et au DCR actuels, aux propositions de DCR	151
illustration 142 : Volumes disponibles calculés pour la zone de gestion de la Sèvre moyenne par rapport aux objectifs DOE et DCR ; historiques récents des prélèvements agricoles et AEP.....	153
illustration 143 : Répartition de la densité des prélèvements sur l'unité de gestion Sèvre moyenne	154
illustration 144 : Modélisation de la chronique de Marsilly.....	156
illustration 145 : Réponse impulsionnelle des composantes lentes et rapides de la chronique de Marsilly	156
illustration 146 : Modélisation de la chronique du piézomètre de Prissé-le-Charrière.....	157
illustration 147 : Les différentes composantes intervenant dans le niveau de la nappe au piézomètre de Prissé.	157
illustration 148 : Niveaux théoriques aux piézomètres de Prissé-la Charrière et Marsilly survenant une année sur 5 (hors impact des pompages saisonniers).	158
illustration 149 : Valeurs par pas de temps des niveaux (en m NGF) calculés pour différentes périodes de retour (simulations non conditionnelles) pour le piézomètre de St-George-du Bois	159
illustration 150 : Valeurs par pas de temps des niveaux (en m NGF) calculés pour différentes périodes de retour (simulations non conditionnelles) pour le piézomètre des Forges	159
illustration 151 : Valeurs par pas de temps des niveaux (en m NGF) calculés pour différentes périodes de retour (simulations non conditionnelles) pour le piézomètre de St-Hilaire.....	160
illustration 152 : Valeurs par pas de temps des niveaux (en m NGF) calculés pour différentes périodes de retour (simulations non conditionnelles) pour le piézomètre de Marsilly	160
illustration 153 : Comparaison entre la chronique des mesures et les évolutions théoriques (hors prélèvements saisonniers) pour 3 ans secs.	161
illustration 154 : Valeurs par pas de temps des niveaux (en m NGF) calculés pour différentes périodes de retour (simulations non conditionnelles) pour le piézomètre de Prissé-la-Charrière	161
illustration 155 : Comparaison entre la chronique des mesures et les évolutions théoriques (hors prélèvements saisonniers) pour 3 ans et 40 ans secs.	162
illustration 156 : Niveaux théoriques aux piézomètres de Prissé et de Marsilly en mars et avril pour différentes périodes de retour, historique des prélèvements en nappe sur la zone de gestion Sèvre aval estimés à partir des fichiers DDAF et Agence de l'Eau Loire-Bretagne	163
illustration 157 : Répartition de la densité des prélèvements sur la zone Sèvre aval (Poitou-Charentes uniquement).....	165
illustration 158 : Carte géologique du bassin de la Boutonne (cf. légende en annexe 1)	171

illustration 159 : Carte des aquifères du bassin de la Boutonne, position des piézomètres et des stations hydrologiques, limites des zones de gestion proposées.....	172
illustration 160 : Comparaison des chroniques des Outres avec reports des évènements historiques et phénomènes observés	174
illustration 161 : Modélisation du piézomètre de Outres1 (Dogger)	174
illustration 162 : Modélisation du piézomètre de Outres2 (Infra-Toarcien)	175
illustration 163 : Décomposition des contributions rapide et lente sur Outres1 (Dogger)	175
illustration 164 : Composante lente sur Outres2 (Infra-Toarcien)	176
illustration 165 : Décomposition du graphe de Outres1 (Dogger)	176
illustration 166 : Décomposition du graphe de Outres2 (Infra-Toarcien)	176
illustration 167 : Modélisation de la chronique d'Ensigné.....	177
illustration 168 : Modélisation de la chronique de Juillers	178
illustration 169 : Composante rapide et lente au piézomètre d'Ensigné	178
illustration 170 : Décomposition de la chronique piézométrique d'Ensigné	179
illustration 171 : Modélisation de la chronique du Moulin de Châtre avec en entrée les modèles des piézomètres des Outres, d'Ensigné et de Juillers.....	180
illustration 172 : Agrandissement du graphe précédent pour visualiser les différences entre modèle et mesures observées à l'étiage.....	181
illustration 173 : Décomposition des contributions des nappes et des écoulements rapides (ruissellement...) sur le bassin versant donnée par le modèle pour la station du Moulin de Châtre	181
illustration 174 : Décomposition du débit de la rivière à Moulin de Châtre en fonction des différentes contributions.....	182
illustration 175 : Valeurs par pas de temps des débits (en m ³ /s) calculées pour différentes périodes de retour (simulations non conditionnelles) pour la station de Moulin de Châtre.	182
illustration 176 : Valeurs par pas de temps des niveaux (en m NGF) calculées pour différentes périodes de retour (simulations non conditionnelles) pour le piézomètre de Outres 1	183
illustration 177 : Valeurs par pas de temps des niveaux (en m NGF) calculées pour différentes périodes de retour (simulations non conditionnelles) pour le piézomètre d'Ensigné	183
illustration 178 : Comparaison des débits relevés à Moulin de Châtre avec les courbes théoriques 3 ans sec (DOE) et 10 ans secs (DCR) données par le modèle.....	184
illustration 179 : Comparaison des niveaux relevés à Outres1 (Dogger) avec les courbes théoriques 3 ans sec (DOE) et 10 ans secs (DCR) données par le modèle.....	184
illustration 180 : Comparaison des niveaux relevés à Ensigné (Jurassique supérieur) avec les courbes théoriques 3 ans sec (DOE) et 10 ans secs (DCR) données par le modèle.	185
illustration 181 : Correspondance entre les débits à Moulin de Châtre et les niveaux sur les piézomètres d'Outres1 (Dogger) et d'Ensigné (Jurassique sup.) obtenues par simulation pour une atteinte du DOE et du DCR en sept/oct.....	185

illustration 182 : Volumes disponibles calculés par le modèle pour différentes périodes de retour, historique des prélèvements sur les zones de gestion Boutonne amont estimés à partir des fichiers DDAF et Agence de l'Eau	187
illustration 183 : Volumes disponibles calculés par le modèle pour différentes périodes de retour, historique des prélèvements sur la zone de gestion Boutonne moyenne et aval estimés à partir des fichiers DDAF et Agence de l'Eau	188
illustration 184 : Répartition de la densité des prélèvements sur le bassin de la Boutonne	189
illustration 185 : Carte géologique du bassin de la Seudre, des cours d'eau en bordure de Gironde et du Marais de Brouage (cf. légende en annexe 1)	195
illustration 186 : Carte des systèmes aquifères libres de la zone de gestion proposée, position des stations piézométriques et hydrologiques	196
illustration 187 : Modélisation de la chronique de Mortagne.....	198
illustration 188 : Comparaison sur un cycle hydrologique de la pluie, du débit de la Seudre St-André-de-Lidon et des niveaux aux piézomètres de Bois et de Mortagne.....	198
illustration 189 : Modélisation de la chronique de St-André-de-Lidon avec en entrée le piézomètre de Mortagne.	200
illustration 190 : Agrandissement du graphe précédent pour visualiser les écarts entre le modèle et la chronique en période d'étiage	200
illustration 191 : Différence de volume en période d'étiage entre le modèle et la chronique mesurée.	201
illustration 192 : Correspondance entre les valeurs obtenues par simulation en utilisant les modèles du piézomètre de Mortagne et de la station de St-André-de-Lidon.....	201
illustration 193 : Valeurs par pas de temps des débits (m ³ /s) calculés pour différentes périodes de retour (simulations non conditionnelles) pour le modèle de la station de St-André-de-Lidon	202
illustration 194 : Valeurs par pas de temps des niveaux (mNGF) calculés pour différentes périodes de retour (simulations non conditionnelles) pour le piézomètre de Mortagne	202
illustration 195 : Comparaison des débits mesurés à St-André-de-Lidon et des débits calculés par le modèle.	203
illustration 196 : Comparaison des niveaux mesurés à Mortagne et des niveaux simulés pour 2 années humides (DOE) et 10 années sèches (DCR).....	203
illustration 197 : Comparaison entre les volumes théoriquement disponibles et les prélèvements des dernières années pour la zone de gestion Seudre-Gironde.	205
illustration 198 : Répartition de la densité des prélèvements sur les 6 mois de basses eaux pour le bassin de la Seudre, des cours d'eau des bords de Gironde et du Marais de Brouage.....	207
illustration 199 : Synthèse par piézomètre analysé	215
illustration 200 : Synthèse par bassin versant et zone de gestion proposée.....	217

Liste des annexes

Annexe 1	Légende des cartes géologiques A4.....	219
Annexe 2	Fiches des piézomètres	223
Annexe 3	Rapport des 3 experts universitaires.....	225
Annexe 4	Réponse du BRGM aux experts universitaires	227
Annexe 5	Compilation (DIREN) des avis des experts hydrogéologues	229
Annexe 6	Compte-rendu (DIREN) de la réunion du 20/06/07.....	231

Liste des planches hors texte

Planche I	Bassin versant de la Dive du Nord
Planche II	Bassin versant de la Pallu
Planche III	Bassin versant de l'Auxance
Planche IV	Bassin versant de la Boivre
Planche V	Bassin versant de la Vonne
Planche VI	Bassin versant de la Dive du Sud/Bouleure
Planche VII	Bassin versant du Clain amont et moyen
Planche VIII	Bassin versant de la Clouère/Miosson/Sarzec
Planche IX	Bassin versant amont et moyen de la Sèvre
Planche X	Bassin versant aval de la Sèvre Niortaise
Planche XI	Bassin versant aval de la Boutonne
Planche XII	Bassin versant de la Seudre

1 Introduction

La DIREN et les Missions Inter-Services Eaux (MISE) des 4 départements de la région Poitou-Charentes ont demandé au BRGM-Service Géologique Régional de réaliser un travail d'analyse des chroniques piézométriques disponibles dans le réseau régional (Conseil Régional, gestion ORE). Cette première phase concerne les bassins de la Dive du Nord, du Clain, de la Sèvre-Niortaise, de la Boutonne et de la Seudre.

La région Poitou-Charentes est dans un contexte hydrogéologique spécifique avec des nappes de milieux essentiellement calcaires, fissurés et/ou karstifiés, à cycle annuel et en relation étroite avec les rivières. Ce contexte fait que les principales problématiques ne résident pas dans l'épuisement des ressources souterraines sur le long terme, comme c'est le cas plus au Nord et au Sud dans le cœur des bassins sédimentaires, mais dans des conflits d'usage très vifs en période de basses eaux entre l'irrigation, l'alimentation en eau potable, les activités littorales, les utilisateurs des cours d'eau...

Les indicateurs de gestion actuellement utilisés apparaissent, pour un certain nombre, inadaptés à la problématique. Ces indicateurs sont souvent critiqués, les seuils utilisés étant jugés soit trop bas, soit trop élevés. La DIREN et les MISE(s) ont souhaité une analyse fine et indépendante de la pertinence de ces indicateurs, pour mettre en place des modalités de gestion basées sur une approche scientifique pouvant déboucher sur un consensus.

L'objectif de la commande de la DIREN en date du 29 septembre 2005 était multiple :

- analyser, avec le logiciel TEMPO de traitement du signal développé par le BRGM, 40 chroniques piézométriques choisies dans les bassins énumérés ci-dessus,
- sélectionner 20 piézomètres parmi ces 40 pour proposer des modalités de gestion des ressources en eaux souterraines,
- proposer des zones de gestion,
- contribuer à l'estimation de volumes "disponibles" en fonction des objectifs de gestion et de l'état de la ressource,
- mettre au point des modèles permettant de prévoir l'évolution de la piézométrie et des débits des rivières en fonction de scénarii de pluviométrie,
- étudier les relations entre les nappes et les rivières.

Ce travail s'est appuyé sur les objectifs de débit de gestion (DOE¹, DCR²) fixés pour les rivières, aux points nodaux en particulier. Il intègre aussi les données disponibles de prélèvement, assez hétérogènes en fonction des départements.

Ce travail mené de l'été 2005 au printemps 2006 a été financé par la DIREN et par le BRGM au titre de ses actions de Service Public. Après avoir présenté la méthodologie utilisée, ce rapport présente les résultats obtenus pour chaque bassin versant.

¹ DOE : Débit d'Objectif d'Etiage

² DCR : Débit de CRise

2 Méthodologie

2.1 DELIMITATION DES ZONES DE GESTION

Dans une première étape, il convenait de délimiter, le plus précisément possible en fonction des données disponibles, des unités de gestion hydrogéologiquement homogènes. Dans beaucoup de cas, les bassins versants souterrains ne correspondent pas aux bassins versants topographique superficiels, en particulier dans le domaine karstique du Dogger, de part et d'autre du Seuil du Poitou.

Cette étape préalable s'est appuyée sur la synthèse des données disponibles : géologie des bassins versants, topographie et limite des bassins hydrologiques, tracés, cartes piézométriques, stations de mesure des niveaux piézométriques et des débits de rivière, état des connaissances des relations nappe/rivière... Il en ressort des propositions de délimitation d'unités de gestion, dont le fonctionnement de "l'hydrosystème" peut être considéré comme relativement homogène à une certaine échelle compatible avec la gestion.

Dans le karst, certaines limites restent encore assez floues et devraient faire l'objet d'études parallèles. C'est le cas en particulier entre Clain et Charente, entre Clain et Vienne.

Chaque bassin versant ou sous-bassin versant a fait l'objet d'une cartographie de synthèse présentée au format A0 en annexe de ce document. Outre une cartographie des différentes informations hydrogéologiques et des points d'eau sur le fond géologique numérique du BRGM, chaque planche présente un bloc-diagramme de la topographie et un profil en long schématisé de la rivière avec indication de son substratum géologique. Ces 2 derniers éléments ont été réalisés en exploitant le Modèle Numérique de Terrain (MNT) de l'IGN au pas de 50 m. Sur le profil en long ont été projetés les piézomètres les plus proches de la rivière.

Chaque unité ou zone de gestion fait l'objet d'une cartographie informatique (polygone géoréférencé) et d'une codification.

2.2 ANALYSE DU CONTEXTE DU PIEZOMETRE

Une liste de 44 piézomètres situés dans les 5 bassins versants a été proposée pour validation au cours de la réunion inter-MISE du 20 juin 2005. Ce premier choix de piézomètres régionaux a été établi à partir de la longueur des chroniques disponibles, de la répartition des piézomètres dans les bassins et de leur utilisation ou non dans les modalités de gestion actuellement en application.

Le contexte de chaque piézomètre a ensuite été analysé en détail et fait l'objet d'une restitution en annexe 2. Il s'est agi :

- D'étudier les coupes géologiques existantes, voire celles des forages avoisinants, pour identifier le(s) niveau(x) capté(s) et le contexte de(s) nappe(s) : captif/libre, sous recouvrement ou non protégé...
- D'examiner les chroniques piézométriques pour identifier : le battement annuel de la nappe et les cotes hautes et basses eaux, l'impact éventuel des prélèvements, l'existence de cycles pluriannuels, l'existence de niveau de débordement ou inversement d'un niveau de base...
- De caractériser l'environnement du point : présence de karst, comparaison des cotes piézométriques avec les cotes des sources et des cours d'eau proches...

A partir des cartes piézométriques et de la topographie, une "zone d'influence" a été établie autour du piézomètre. Elle correspond schématiquement au bassin d'alimentation potentiel de l'ouvrage au sein duquel un prélèvement peut avoir un impact sur ce dernier.

2.3 AFFECTATION DES POINTS D'EAU A DES ZONES

En 2004, dans le cadre du volet gestion des eaux souterraines du Contrat de Plan, la Banque de données du Sous-Sol (BSS) et les fichiers des DDAF ont été rapprochés de manière à disposer d'une base de points d'eau unique. Chaque point d'eau est rattaché à un ou plusieurs systèmes aquifères.

Dans le cadre de ce travail, chaque point d'eau de cette base, dans les bassins concernés, a été affecté à une zone de gestion définie précédemment (unité hydrogéologique cohérente) en considérant sa position géographique et la nappe captée.

Le point d'eau a aussi été affecté, si il y avait lieu, à une zone d'influence d'un piézomètre et/ou au bassin versant d'une station de mesure des débits de rivière.

2.4 MODELISATION AVEC TEMPO

2.4.1 Présentation du logiciel

TEMPO, logiciel destiné au traitement et à la modélisation des séries temporelles en hydrogéologie ainsi qu'en hydrogéochimie, est le fruit d'un savoir-faire dans le domaine du traitement du signal.

Le logiciel TEMPO, développé par le BRGM, peut être utilisé pour traiter des données aussi diverses que les signaux radon mesurés dans les gaz des sols, la pression

atmosphérique, les chroniques pluie/débit d'un bassin versant, les chroniques pluie/niveau piézométrique ou le monitoring d'espèces en solution,... Il est actuellement utilisé pour la prévision de crues (Somme) et la gestion des étiages (Picardie, Ile de France).

Les traitements peuvent conduire à la caractérisation du fonctionnement d'un système, à la modélisation inverse des phénomènes ou bien à leur simulation. Le terme modélisation inverse recouvre ici les techniques visant à reproduire un débit, un niveau piézométrique ou un flux (transfert de masse) à partir d'une chronique de pluie et d'ETP (ou de température moyenne journalière), éventuellement de concentration d'un soluté, de paramètres physico-chimiques,...

Contrairement à la modélisation directe qui consiste à reproduire le comportement d'un hydrosystème à partir de concepts reposant à la fois sur la description de cet hydrosystème et l'application de lois de la physique, la modélisation inverse déduit le fonctionnement du système de l'analyse des données.

La relation causale entre entrées et sorties du système est matérialisée par une ou plusieurs fonctions de transfert (ou réponses impulsionnelles) décrivant les différents processus impliqués : ruissellement, infiltration, écoulement souterrain.

Lorsque plusieurs réponses impulsionnelles indépendantes sont nécessaires à la modélisation, le système est dit non linéaire. Ce système peut également avoir plusieurs entrées : c'est ainsi qu'un débit peut être reproduit à partir non seulement d'une séquence de pluie et d'ETP, mais également du niveau piézométrique d'une nappe contribuant à l'alimentation et/ou au drainage d'un cours d'eau (mise en évidence de relations nappe/rivière). La technique d'inversion permet alors de mettre en évidence la contribution des différentes entrées au cours du temps, les mécanismes de transfert étant, là encore, traduits par les réponses impulsionnelles du modèle.

TEMPO peut également être utilisé pour la simulation prévisionnelle de débits et de niveaux piézométriques à partir de séquences de pluies et d'ETP générées de façon stochastique. Le simulateur peut fonctionner en cascade, la sortie d'un modèle pouvant être l'entrée d'un autre modèle : par exemple, un niveau piézométrique calculé à partir d'une séquence de pluie et d'ETP elles-mêmes simulées peut être utilisé pour le calcul du débit d'un cours d'eau de manière à prendre en compte les interactions nappe/rivière. Les séquences de pluie simulées dans ces différents modèles peuvent éventuellement être corrélées spatialement. Il en va de même des séquences d'ETP.

Les outils utilisés dans TEMPO réalisent la synthèse de différentes techniques dont la synergie ouvre de nouvelles applications. C'est le cas du calcul des réponses impulsionnelles à plusieurs entrées pour la caractérisation des relations nappe - rivière. C'est également le cas de la simulation de séquences de pluie et d'ETP avec l'algorithme de Metropolis – Hastings. L'originalité de la technique repose sur la simulation des corrélations pluie/ETP ou pluie/Température qui revêtent une grande importance dans les études de la dérive climatique, ainsi que pour la simulation de corrélations spatiales de pluie et d'ETP qui peuvent être cruciales lors de prévisions

impliquant de grands bassins. Ces simulations s'appliquent aux transferts dès lors qu'un modèle a été bâti. Plusieurs modèles peuvent fonctionner en cascade.

Enfin, le logiciel TEMPO utilise un algorithme de régularisation original utilisé pour le calcul des réponses impulsionnelles et, d'une manière plus générale, pour la modélisation inverse, dont les fondements mathématiques et numériques ont fait l'objet de publications dans *Water Resources Research**.

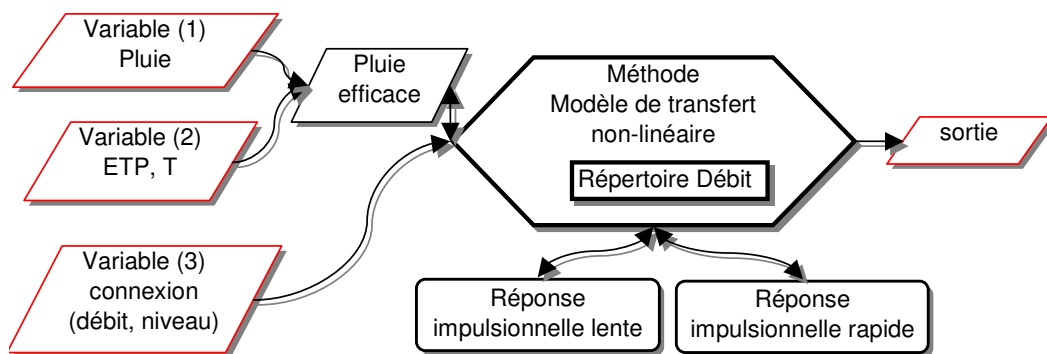


illustration 1 : Organigramme d'un modèle de transfert non-linéaire : 2 réponses impulsionnelles sont utilisées. Les variables observées sont en rouge (dans le cas présent, Sortie = Niveau piézométrique).

* Quelques références se rapportant à l'utilisation du logiciel Tempo :

Pinault J-L (2001) – Manuel utilisateur de TEMPO: logiciel de traitement et de modélisation des séries temporelles en hydrogéologie et en hydrogéochimie. Projet Modhydro. Rap. BRGM/RP-51459 –FR, 221 p., 206 Fig, 5 tabl., 2 ann.

Pinault J.-L., H. Pauwels and C. Cann, Inverse modeling of the hydrological and the hydrochemical behavior of hydrosystems – Application to nitrate transport and denitrification, *Water Resour. Res.*, 37(8), 2179-2190, 2001 a.

Pinault J.-L., V. Plagnes, L. Aquilina and M. Bakalowicz, Inverse modeling of the hydrological and the hydrochemical behavior of hydrosystems - Characterization of karst system functioning, *Water Resour. Res.*, 37(8), 2191-2204, 2001 b.

Pinault J-L, N. Doerfliger, B. Ladouche and M. Bakalowicz (2004), Characterizing a costal karst aquifer using an inverse modeling approach : the saline springs of Thau, southern France, *Water Resour. Res.*, 40, W08501, doi :10.1029/2003WR002553

J-L Pinault, N. Amraoui and C. Golaz, Groundwater-induced flooding in macropore dominated hydrological system in the context of climate changes, *Water Resour. Res.*, en cours de publication

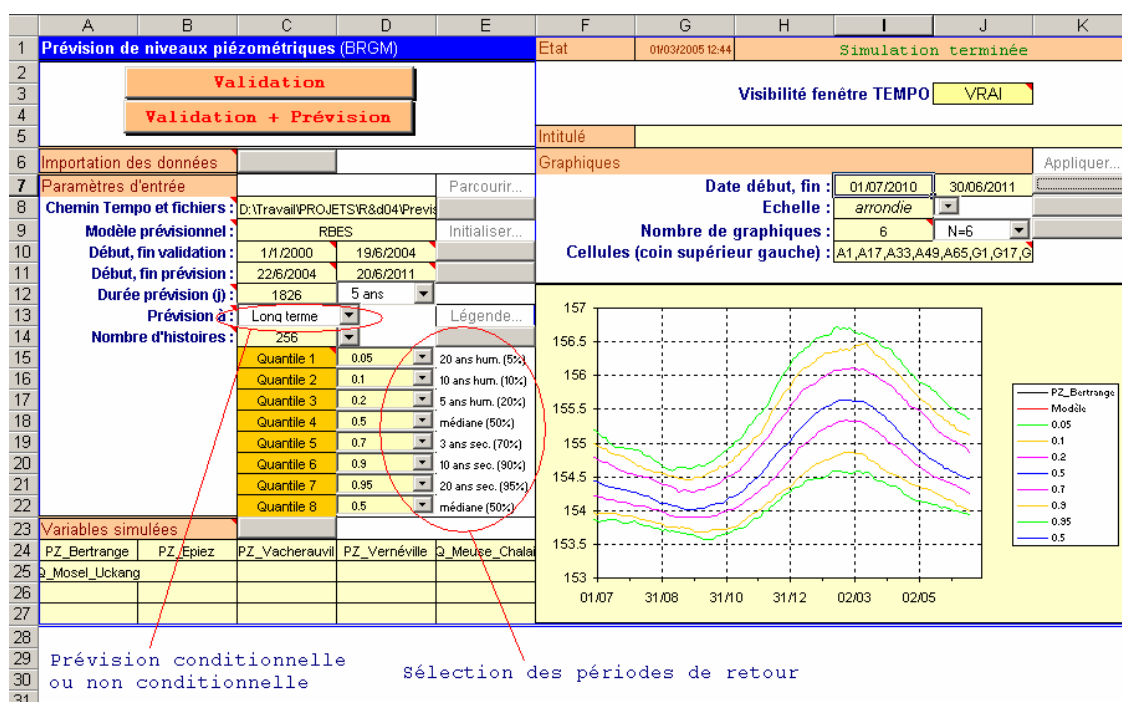


illustration 2 : L'environnement EXCEL. En mode prévision court terme (temps réel) l'utilisateur met à jour les données climatologiques et piézométriques périodiquement. Le bouton "Validation + Prévision" permet alors de réaliser la prévision de 20 niveaux piézométriques simultanément. Les périodes de retour peuvent être modifiées à tout moment, le nombre de réalisations est optimisé en fonction de la sélection. Le bouton "long terme" permet de basculer de la prévision à long terme (non conditionnelle) à la prévision à court terme (conditionnelle).

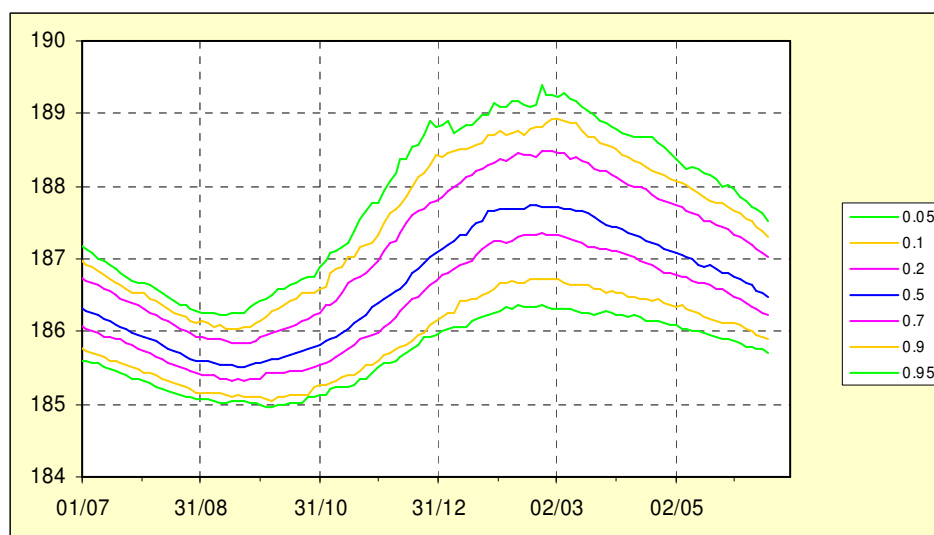


illustration 3 : Prévision à long terme (piézomètre non influencé). De manière à rendre la prévision indépendante des conditions initiales, la prévision est réalisée dans le cas présent du 1/7/2010 au 30/6/2011. Les probabilités de dépassement correspondant aux différents quantiles sont indiquées (par exemple le minimum absolu de période de retour 20 ans est à 185 m NGF – le niveau 186.1 m NGF observé le 31/12 a une probabilité de dépassement de 90% ou encore une probabilité de non dépassement de 10%, c'est à dire une période de retour décennale).

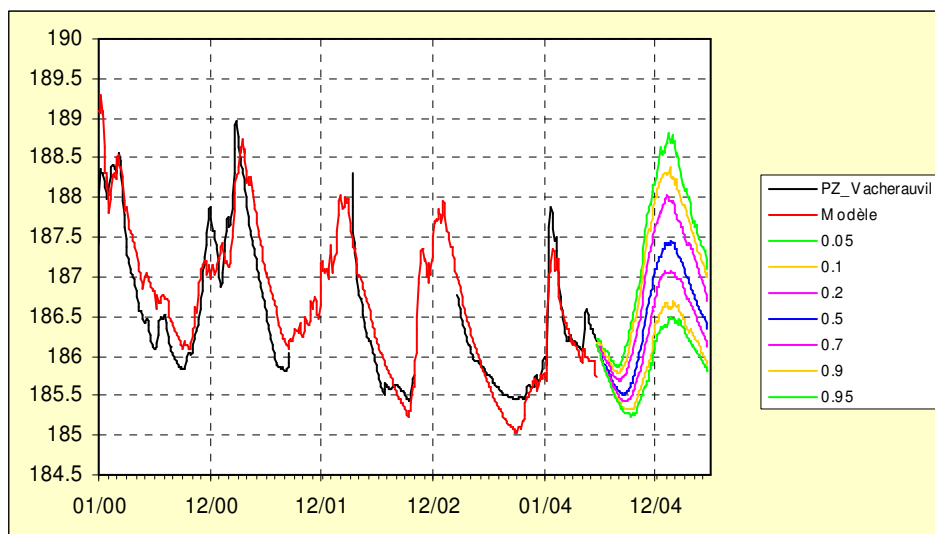


illustration 4 : Prédiction à court terme (processus autorégressif). Les valeurs manquantes sont reconstituées grâce au modèle. Contrairement à la figure précédente, les prévisions prennent en compte les conditions initiales du système. Elles pourraient éventuellement intégrer des prévisions météorologiques.

2.4.2 Utilisation de TEMPO

❶ Recherche de la meilleure corrélation pluie-ETP/niveau piézométrique

Les chroniques de pluie (au pas journalier) et d'ETP (au pas décadaire), existant sur et à la périphérie des bassins étudiés et depuis 1990, ont été acquises auprès de Météo-France. Un premier travail a été réalisé en recherchant par bassin les combinaisons des stations climatiques qui se corrèlaient le mieux avec les chroniques des niveaux piézométriques.

Cette combinaison ne fait pas obligatoirement appel à des stations climatiques situées dans le bassin versant examiné.

❷ Prise en compte des spécificités du piézomètre

Dans une seconde étape, la modélisation des chroniques piézométriques s'est heurtée à plusieurs difficultés qui ont conduit à adapter parfois l'outil informatique. L'analyse fine des chroniques et l'examen de l'environnement du point ont permis d'identifier plus précisément les phénomènes qui intervenaient.

En premier lieu, l'existence de débordement à partir d'une certaine cote impactait significativement le calage du modèle en période de hautes eaux. Le modèle donne dans ce cas un niveau plus haut que la chronique de mesures. L'introduction de prélèvements fictifs a permis de prendre en compte ces phénomènes.

L'existence de seuils bas, au-delà duquel la chronique réelle ne peut descendre en dehors de conditions exceptionnelles et provenant en général d'un soutien de la nappe par le niveau de base que constitue la rivière, a également dû être introduit dans le modèle en ajoutant une contrainte.

Enfin, dans quelques cas, une fonction a été introduite pour tenir compte de l'impact des prélèvements importants sur des historiques piézométriques (ill. 5). Cette fonction découle de l'analyse approfondie de quelques chroniques piézométriques très impactées par les pompages. Toutefois l'introduction de cette fonction n'a pas toujours suffi pour reconstituer parfaitement la composante pompage.

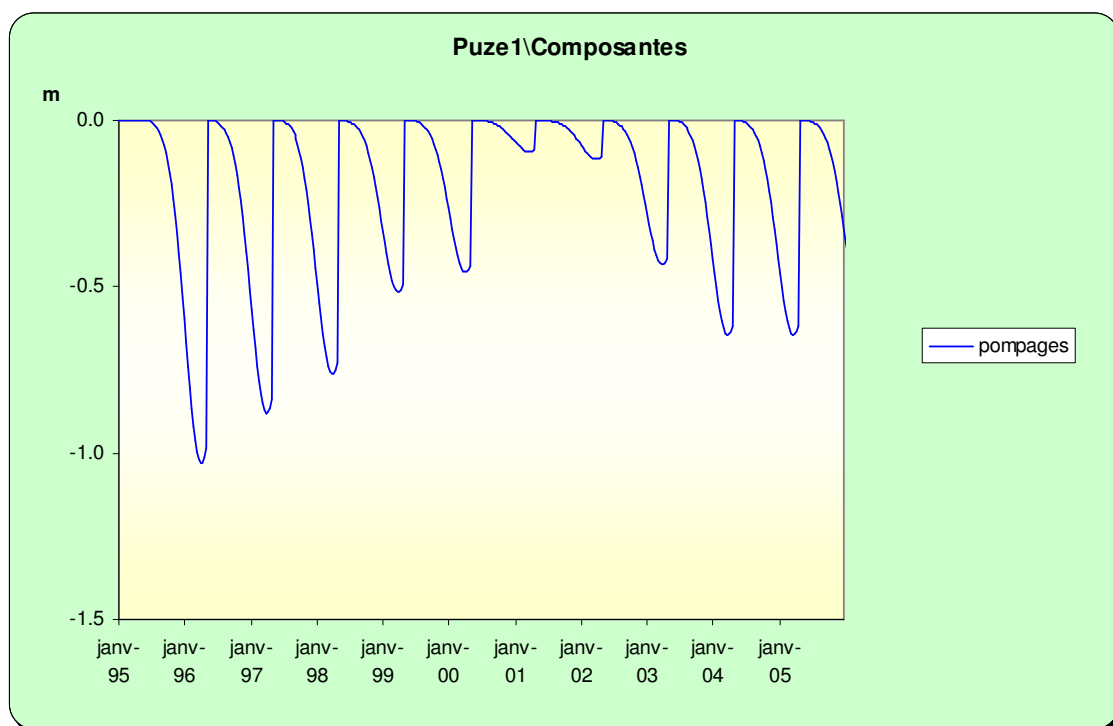


illustration 5 : Fonction pompage introduite pour la modélisation de Puze1 (cf aussi ill. 25)

③ Calage

Le calage des différents modèles a été réalisé par itérations successives en s'appuyant sur l'analyse du contexte du piézomètre. Cette modélisation a permis aussi inversement de mieux comprendre le fonctionnement de l'aquifère dans le secteur du piézomètre.

Cette étape fondamentale consiste à reproduire le mieux possible la chronique piézométrique réelle. Si nécessaire, l'introduction de seuils (bas et/ou haut) et de pompages permet d'affiner le calage.

La précision de ce calage est mesurée à partir de la valeur des paramètres donnés sur les graphes, en particulier R2 : plus R2 est proche de 1, meilleur est le calage.

Les écarts entre modèle et chronique réelle peuvent souligner des phénomènes particuliers sur le piézomètre : contraste vertical de transmissivité, impact de lâchers de barrage ...

④ Analyse impulsionnelle

L'analyse "impulsionnelle" permet de mettre en évidence les différentes composantes intervenant dans le niveau piézométrique. Le schéma ci-dessous illustre ces différentes composantes en comparant aquifère sableux (à porosité matricielle) et aquifère calcaire, où l'eau est contenue dans les fissures et les chenaux souterrains.

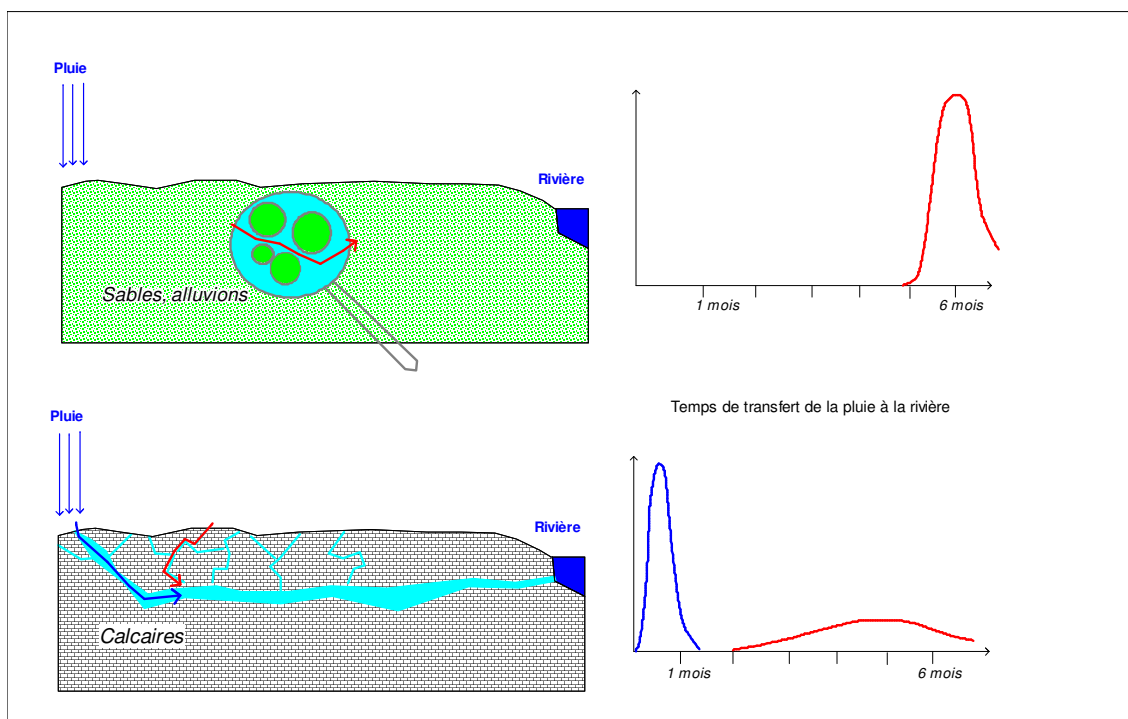


illustration 6 : Schéma illustrant les 2 grands types de réponse à une pluie dans des formations sédimentaires.

L'aquifère sableux peut être considéré comme un milieu continu globalement homogène à une certaine échelle. La réaction de ce milieu à une « impulsion pluie » se traduira par une réponse impulsionnelle unique (une seule composante) dont le décalage dans le temps sera fonction de la perméabilité du milieu (cf. ill. 6 haut).

L'aquifère calcaire karstifié est au contraire un milieu discontinu et à double porosité : une porosité en « grand » due à la karstification et une porosité matricielle (ou de fissures plus ou moins colmatées). La réaction à une « impulsion pluie » sera dans ce cas double :

- il y aura une réponse rapide et peu étalée dans le temps (en bleu sur ill. 6 bas) correspondant à la fraction de l'eau qui aura empruntée les conduites karstiques,

- et une réponse différée, beaucoup plus aplatie (en rouge sur ill.6 bas) correspondant à la fraction de l'eau qui aura circulé beaucoup plus lentement dans les pores de la matrice ou dans les fissures.

Le logiciel TEMPO fournit le graphe des réponses des différentes composantes suite à une impulsion pluie.

Une mise en charge quasi-immédiate souligne le caractère captif de l'aquifère (transfert de pression). Cette réactivité ne traduit pas directement la réaction à une pluie au droit de l'ouvrage mais la réaction de l'ensemble du système. Aux limites de l'aquifère, la pluie vient recharger la rivière, la faille ou le conduit karstique, la nappe libre qui contribuent à son alimentation. A l'image d'un château d'eau vis-à-vis du réseau de distribution, l'accroissement des pressions qui en résulte se transmet presque instantanément dans les parties captives.

Dans ce travail, le pic d'arrivée pour les transferts rapides, le maximum de la réponse et le temps de retour à l'état initial pour les transferts plus lents (ill.7) sont utilisés pour caractériser l'inertie de l'aquifère au niveau du piézomètre. Il convient de préciser qu'il s'agit de transferts de pression sans obligatoirement impliquer des transferts de matière (comme dans le cas des nappes captives).

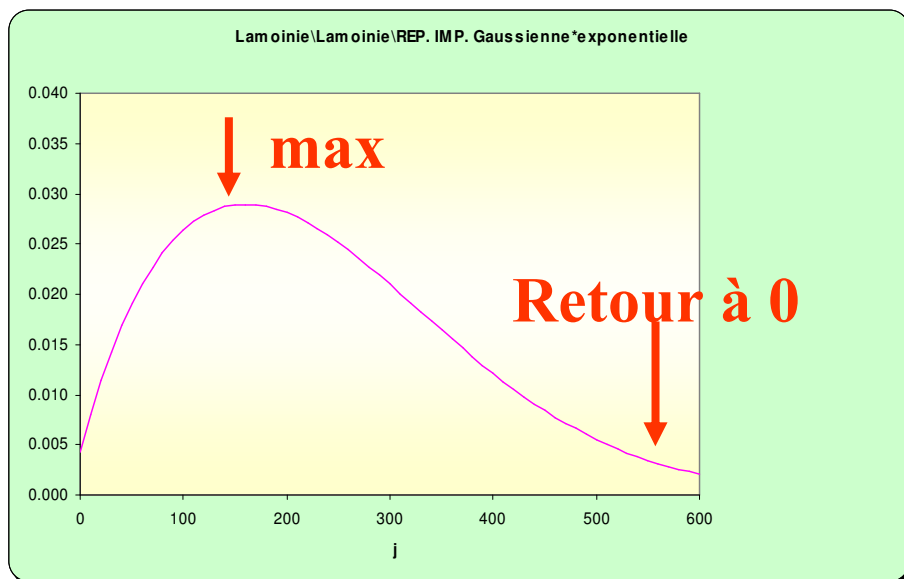


illustration 7 : analyse impulsionnelle sur la composante lente : paramètres utilisés pour caractériser l'inertie du système

⑤ Corrélations pluie/niveau/débit

Une autre étape a consisté à modéliser les chroniques hydrologiques disponibles. La recherche de corrélations entre chroniques piézométriques et hydrologiques a conduit à cerner les participations relatives des différentes nappes au débit du cours d'eau. Le logiciel restitue la composition du débit du cours d'eau en individualisant les apports des nappes (majoritaires en périodes de basses eaux) et les ruissellements dans le bassin versant ou autres apports.

Le modèle hydrologique obtenu ne tient pas compte des prélèvements saisonniers. Les écarts en basses eaux entre modèle et chronique mettent en évidence l'impact des prélèvements, voire dans certain cas les pertes de la rivière à l'amont de la station. Ces écarts sont quantifiables.

⑥ Utilisation des modèles en simulation

L'étape suivante a consisté à utiliser les modèles en simulation. Cette étape est relativement indépendante des étapes précédentes de calage. En effet, les paramètres non naturels, intégrés dans les modèles pour préciser le calage, ne sont pas repris. On a conservé les seuils de débordement ou de base mais on n'a pas repris les fonctions pompage ou les tendances. L'objectif de l'analyse prévisionnelle est de reconstituer des chroniques les plus naturelles possibles.

Le générateur de pluie, basé sur l'analyse des historiques de pluie rentrés, permet de simuler un grand nombre de situations pluviométriques (plus de 250 dans le cas présent). Les simulations obtenues ont été triées de manière à en extraire les périodes de retour. La simulation médiane correspond à une situation au moins vérifiée une année sur deux.

Afin de s'affranchir de l'inertie des systèmes (l'évolution durant une année est impactée par l'évolution sur le cycle précédent), l'analyse a exploité les simulations sur l'année 2011 (simulations dites « non-conditionnelles »).

Les courbes obtenues, aussi bien pour les piézomètres que pour les débits de rivière correspondent à des évolutions « pseudo-naturelles », non influencées par les pompages saisonniers. Les pompages réguliers (AEP) sont toutefois en grande partie implicitement pris en compte.

Les courbes peuvent être comparées aux seuils de gestion fixés pour la rivière. Ainsi, une des courbes (et une période de retour) peut être associée à un objectif de gestion, DOE ou DCR, qui sera atteint à l'étiage. Inversement, la courbe théorique 1 année sèche sur 5 correspond à un débit d'étiage satisfait 4 années sur 5, c'est-à-dire théoriquement la base de calcul du DOE.

⑦ Calcul des volumes disponibles

Une fois obtenues les courbes théoriques du débit de la rivière en fonction de périodes de retour et une fois comparées ces courbes aux seuils fixés pour la rivière, le modèle

calcule les volumes correspondant à l'écart entre courbe de référence (permettant de satisfaire le DOE ou le DCR) et courbe d'évolution prévisible (ill. 8) à partir de l'état de la ressource au printemps. Ce calcul des volumes disponibles en période de basses eaux en fonction de l'état de la ressource s'appuie sur le schéma de prélèvement suivant : 10 % du volume prélevé en mars, en avril et en mai, 20 % en juin et août, et 30 % en juillet. Il est bien évident que la manière selon laquelle les prélèvements sont répartis dans le temps a une incidence plus ou moins forte sur le débit du cours d'eau. Ainsi, un scénario avec des prélèvements concentrés en été (20 % en juin, 40 % en juillet et en août) aboutit à diviser presque par 2 les volumes disponibles donnés dans le scénario précédent.

Il convient aussi de préciser que les courbes restituées par les modèles sont laissées sur une décade ce qui n'est pas le cas pour les chroniques réelles, en général au pas journalier.

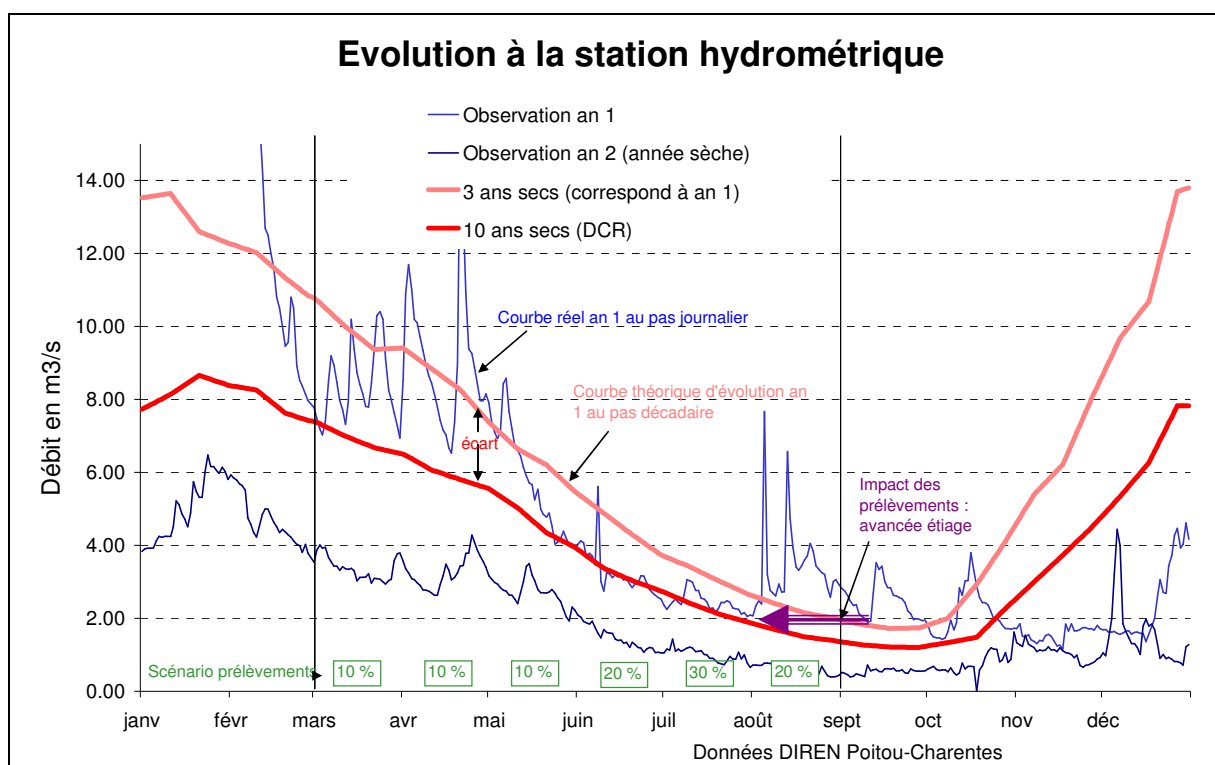


illustration 8 : Principe de calcul du volume disponible : l'écart entre la courbe théorique d'évolution lissée au pas décadaire et hors prélèvements saisonniers et la courbe objectif (ici le DCR), combiné avec un scénario de prélèvements, conduit à une estimation des volumes théoriquement disponibles.

2.5 INTEGRATION DES PRELEVEMENTS POUR L'AGRICULTURE

Un important travail de collecte d'information et de mise en forme a été réalisé pour pouvoir disposer d'une base de données des prélèvements agricoles sur les bassins versants traités. La gestion de ces prélèvements est toutefois disparate en fonction des départements.

Vienne

La DDAF de la Vienne nous a transmis les données collectées auprès des irrigants dans le cadre de la gestion volumétrique. Il s'agit, de 2000 à 2004, des relevés de compteur, sachant que derrière un compteur il peut y avoir plusieurs combinaisons possibles :

- 1 compteur, 1 seul forage, cas le plus simple,
- 1 compteur et plusieurs forages,
- 1 compteur, 1 ou plusieurs forages, 1 prise d'eau en rivière, cas le plus compliqué.

Un travail d'analyse critique de ces données a donc été nécessaire en collaboration avec la DDAF. Les indices ont été transformés en volume avec toutes les difficultés que cela suppose : panne de compteur et changement, erreur de relevé... Les valeurs apparemment anormales (en particulier valeurs élevées) ont ensuite été regardées et éventuellement éliminées.

Après une succession d'analyses et de mises en forme, il en résulte une base de données ACCESS avec le numéro BSS du point d'eau, la date de début de période, le volume consommé dans la période. Les prélèvements de printemps et d'hiver ont été globalisés sur la période allant du 15 février de l'année à la première semaine de gestion estivale. Ensuite les autres périodes, jusqu'au mois de septembre, correspondent aux relevés hebdomadaires qui ont été affectés au lundi de début de période.

Deux-Sèvres

La DDAF des Deux-Sèvres a transmis un certain nombre de fichiers correspondant aux volumes prélevés de 1998 jusqu'à l'année 2004 comprise. Ces volumes étaient classés par zone de gestion actuelle et par exploitant.

Un important travail a été nécessaire pour répartir ces prélèvements sur les forages. A un numéro d'irrigant a été affecté un ou plusieurs ouvrages. Un travail de recherche a parfois été nécessaire. Dans le cas de plusieurs forages, le volume consommé a été divisé par le nombre d'ouvrages. Comme pour la Vienne, il a fallu ensuite balayer les fichiers pour déceler, corriger ou éliminer les anomalies.

Il en résulte une base dont chaque ligne (enregistrement) est constituée du numéro BRGM (indice national), d'une date et du volume consommé sur la période. Pour la DDAF des Deux-Sèvres, la date de début de période (semaine) en gestion volumétrique correspondait au samedi. Afin d'être homogène avec la Vienne, le volume a été affecté au lundi de la période. Les prélèvements antérieurs à la gestion volumétrique ont été affectés au 15 février de l'année, toujours par analogie avec la Vienne.

Charente-Maritime

Le fichier transmis par la DDAF de Charente-Maritime correspondait aux volumes annuels déclarés par les irrigants à l'Agence de l'Eau entre 1997 et 2004 compris. Là aussi le lien entre numéro d'irrigants, numéro de compteur pour l'Agence de l'Eau et numéro d'ouvrage BSS (indice national) n'a pas été simple à réaliser.

Le volume annuel consommé par irrigant a été dans un premier temps globalisé (dans le fichier DDAF, à un irrigant pouvait correspondre plusieurs lignes) puis ensuite réparti sur les ouvrages de cet exploitant déclarés en Banque de données du Sous-Sol (BSS).

Les valeurs nulles ont été écartées. Il résulte de ce traitement la bancarisation de plus de 2 000 points de prélèvements annuels ce qui permet d'aboutir à un historique de 12 858 lignes.

La base de données résultant des traitements

A partir du traitement de l'ensemble de ces fichiers hétérogènes, une base de données a été élaborée. La table principale "chronique" comprend 3 champs : numéro BSS, date, volume et utilise les conventions suivantes :

- en gestion volumétrique, le volume a été affecté au lundi de la semaine de consommation,
- les prélèvements réalisés avant la période de gestion volumétrique ont été associés à la date du 15 février de l'année,
- les prélèvements annuels (pour la Charente-Maritime) ont été rapportés au 1^{er} janvier de l'année.

3 Bassin de la Dive du Nord

3.1 CONTEXTES GEOLOGIQUE ET HYDROGEOLOGIQUE

Ce bassin est entièrement constitué à l'affleurement de terrains sédimentaires (illustration 9). Situées en marge du Massif Armoricaire, les couches sédimentaires s'approfondissent globalement vers le Nord-Est dans le Bassin de Paris.

- A la base de la série sédimentaire, venant sur le socle, on trouve les formations du Jurassique inférieur (Lias) constituées de terrains variés (argiles, grès, calcaires, dolomies...), peu épais à l'Est, surmontées par des marnes d'âge Toarcien (cf. la réserve géologique de Thouars). Les terrains infra-toarciens sont aquifères. Toutefois l'aquifère Infra-Toarcien est peu reconnu et peu exploité dans le bassin de la Dive.
- Au-dessus des marnes du Toarcien, les calcaires karstifiés du Dogger forment l'aquifère principal de ce bassin. Ils affleurent entre Thouet et Dive, en rive gauche de cette dernière. La fracturation a favorisé le développement du karst. Un traçage a montré que les pertes du ruisseau de l'Homme qui topographiquement rejoint le bassin du Thouet et les sources de Seneuil, ressortaient également en partie à la source de la Grimaudière. Cette importante source de débordement, qui vient alimenter la Dive, émerge dans la partie supérieure du Dogger (autour de la cote 82/83 m NGF). D'autres sorties karstiques sont aussi connues plus vers l'aval.

La nappe du Dogger est très exploitée autour de la source de la Grimaudière comme plus à l'aval dans le secteur d'Oiron. En rive orientale de la Dive, le Dogger disparaît sous les recouvrements et la nappe devient captive.

- Au-dessus du Dogger viennent les formations du Jurassique supérieur (Oxfordien) de nature calcaréo-marneuse. Ces terrains, globalement assez peu perméables, deviennent toutefois aquifères en surface grâce à la fracturation et à l'altération. La frange superficielle fissurée et altérée sur une vingtaine de mètres d'épaisseur en moyenne forme un aquifère en relation étroite avec les cours d'eau. Cet aquifère apparaît aussi déconnecté de l'aquifère captif du Dogger comme en témoigne la différence de charge (environ 8 m de plus pour la nappe du Jurassique supérieur) constatée au niveau du piézomètre de Cuhon. En revanche, dans les secteurs où l'épaisseur des marnes jurassiques est faible, cette nappe vient vraisemblablement alimenter la nappe sous-jacente du Dogger, comme en témoignerait la crête dessinée par la piézométrie du Dogger tout le long de la frontière entre nappe captive et nappe libre (ill. 10).

La nappe du Jurassique supérieur est également très exploitée par de nombreux forages agricoles.

- Au-dessus du Jurassique supérieur, ou directement au-dessus du Dogger dans le secteur d'Oiron, on trouve les terrains sablo-argileux discordants du Cénomaniens (Crétacé supérieur). Les sables du Cénomaniens forment un quatrième ensemble aquifère capacitif (emmagasine beaucoup d'eau) mais peu transmissif (vitesse des écoulements souterrains faible). Cette nappe est ou était exploitée par de nombreux puits.
- Enfin les calcaires crayeux ("Tuffeau") du Turonien, qui coiffent les reliefs crétacés, peuvent également contenir de petites nappes à intérêt local.

Les cartes piézométriques dressées dans ce bassin (ill. 9) montrent que les nappes du Jurassique supérieur et du Crétacé s'écoulent globalement conformément à la topographie et viennent contribuer au débit de la Dive et de ses affluents. Dans la partie amont du bassin, c'est le Jurassique supérieur qui vient alimenter la Dive. En période estivale, le niveau de cette nappe descend sous le niveau de la rivière (cf. Planche hors texte I) qui connaît alors des assecs. A partir de la Grimaudière, la nappe du Dogger vient alimenter la Dive. La piézométrie de cette nappe reste en rive gauche nettement au-dessus de la rivière ce qui soutient le débit d'étiage. Elle dispose vraisemblablement dans ce secteur d'importantes réserves comme en témoigne l'analyse des différents piézomètres disponibles (cf. chapitres suivants). Plus à l'aval, dans la partie "plate" de Oiron/Moncontour, le niveau de la nappe du Dogger est assez proche de celui de la rivière et les battements annuels (hautes et basses eaux) sont relativement faibles.

Enfin, pour être complet, au Nord du bassin de la Dive, la faille de Loudun remonte le compartiment septentrional et porte à l'affleurement des terrains du Jurassique (anticlinal de Richelieu).

L'analyse hydrogéologique conduit à proposer pour le bassin de la Dive deux domaines hydrogéologiques : d'une part le Dogger libre, le Jurassique supérieur et le Crétacé supérieur dont les eaux rejoignent le réseau hydrographique, et d'autre part le Dogger captif, voire l'Infra-Toarcien, qui tendent à s'écouler en profondeur vers le Bassin de Paris (ill. 10).

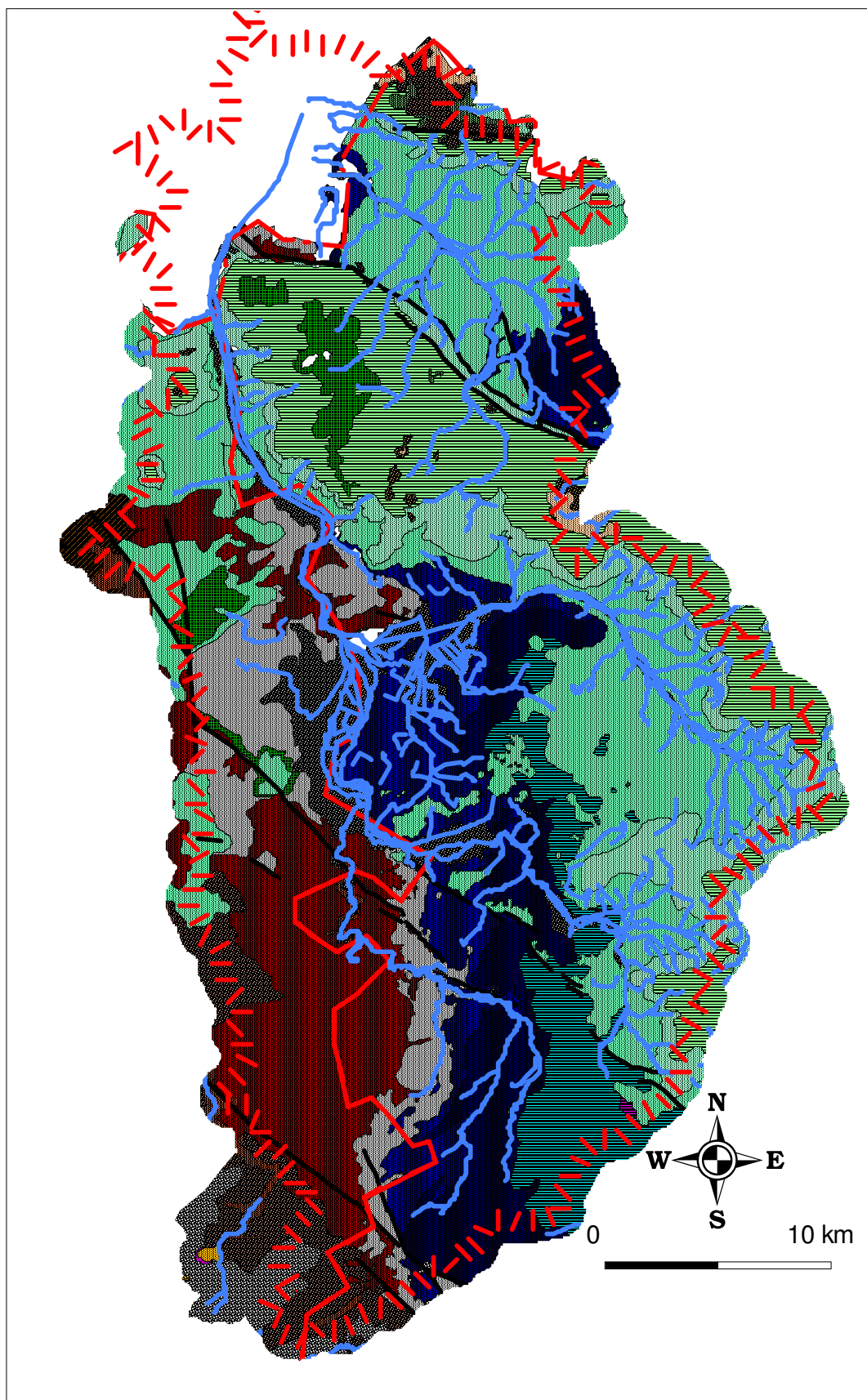


illustration 9 : Carte géologique du bassin de la Dive du Nord (cf légende annexe 1)

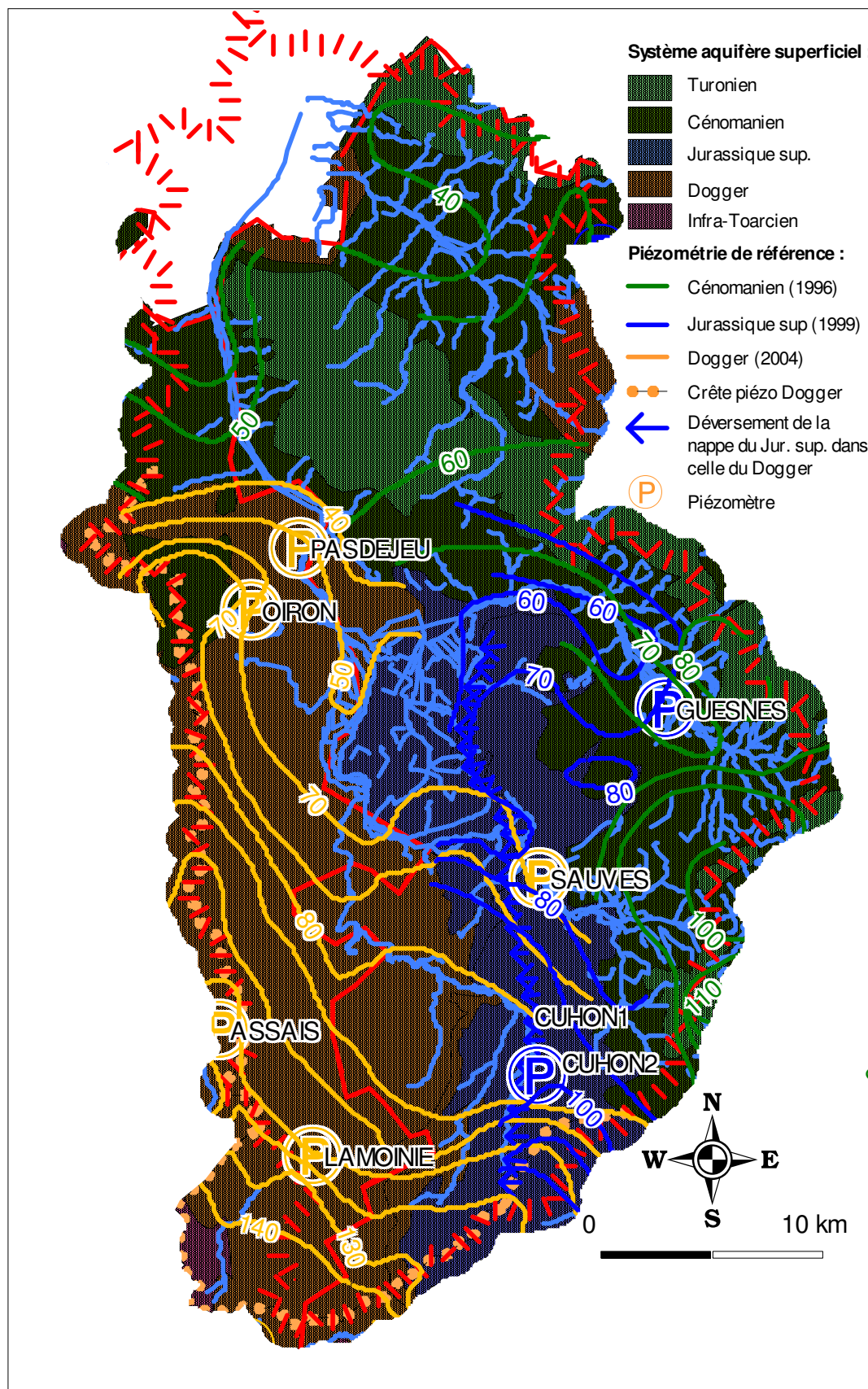


illustration 10 : Synthèse hydrogéologique du bassin versant de la Dive

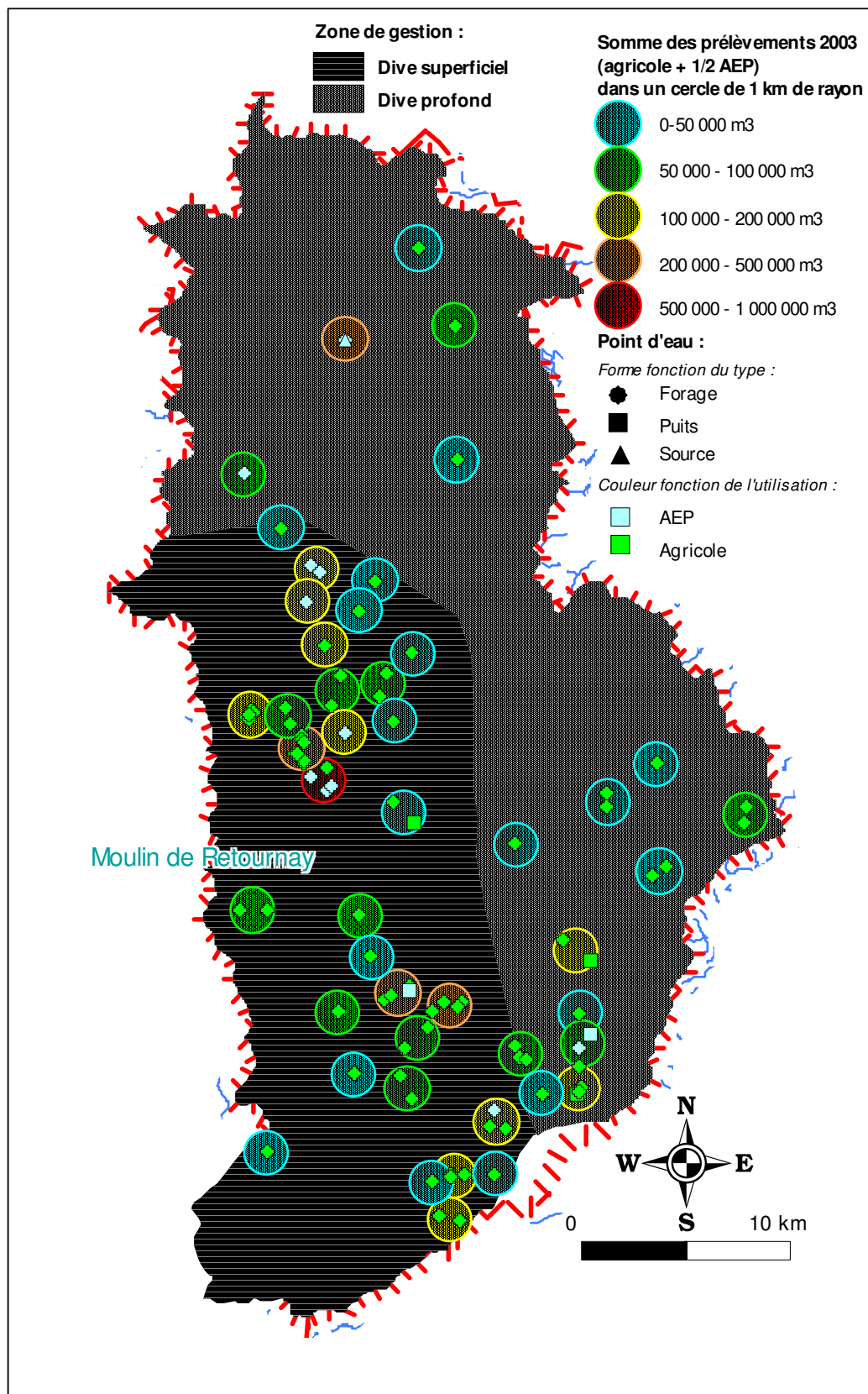


illustration 11 : Zones de gestion et prélèvements 2003 sur le bassin de la Dive (Dive superficielle)

3.2 SYNTHÈSE DE LA MODELISATION

Analyse des chroniques piézométriques

Le bassin de la Dive du Nord dispose d'un certain nombre de suivis piézométriques : Pas de Jeu, Oiron, Assais (situé dans le bassin du Thouet mais sur la ligne de crête avec le bassin de la Dive), Lamoinie, Cuhon1 et Sauves dans le Dogger, Cuhon2 et Guesnes dans le Jurassique supérieur. A l'exception de Pas de Jeu, abandonné depuis 2001, tous ces piézomètres ont été analysés (cf. Annexe2). Les modèles ont été calés avec les données depuis le début des mesures jusqu'à la fin 2005. Les meilleures corrélations ont été obtenues avec les données pluviométriques des stations de Loudun, Marigny, Nuaillé et l'ETP de Poitiers.

➤ Dogger Libre

En rive gauche de la Dive, les piézomètres au Dogger d'Oiron, d'Assais et de Lamoinie présentent des chroniques assez semblables et également assez singulières dont l'analyse permet de mieux appréhender le fonctionnement de l'aquifère libre du Dogger dans tout ce secteur. Ces chroniques présentent des fluctuations annuelles qui se surimposent à des tendances pluriannuelles correspondant à des années où la recharge hivernale a été particulièrement importante : 1994/95 et 2000/01. Les battements de la nappe sont globalement assez faibles, de l'ordre de quelques mètres, et la modélisation des chroniques donne des transferts souterrains lents avec des pics au bout de plusieurs mois et un retour à l'état initial plus d'un an après une impulsion de pluie (sur 10 jours) montrant une certaine inertie du système aquifère. Sur Lamoinie (ill. 14), il existe des transferts plus rapides, mais marginaux en volume, à mettre vraisemblablement en relation avec les pertes karstiques du ruisseau de l'Homme à l'amont du piézomètre. Sur Oiron, situé à l'aval, on observe une tendance à la remontée des niveaux qui, en l'absence de problème matériel sur l'enregistreur, pourrait s'expliquer par la diminution des prélèvements aux alentours du point (agricoles et AEP).

Le réservoir du Dogger dans toute cette partie du bassin de la Dive apparaît assez fortement capacitif. L'absence de cote de débordement sur les piézomètres indique que dans ces zones des stocks importants peuvent être constitués lors de périodes hivernales à forte pluviosité. Les formations sablo-argileuses tertiaires de recouvrement ou le Cénomaniens sableux (pour Oiron), capacitifs mais peu transmissifs, peuvent également emmagasiner de l'eau relarguée progressivement. Le réservoir est apparemment modérément karstifié (pour du Dogger) ce qui expliquerait l'existence principalement de transferts souterrains lents. Ce secteur serait favorable à des réalimentations artificielles de nappe.

➤ Dogger captif

Les piézomètres de Cuhon1 et de Sauves caractérisent la nappe du Dogger captive sous le recouvrement de Jurassique supérieur. L'allure des chroniques est différente

de celle des chroniques des piézomètres précédents avec des seuils de débordement semblant correspondre aux cotes d'affleurement du Dogger à l'aval des piézomètres. L'impact des prélèvements se marque aussi nettement surtout dans les années 1993/98. Sur le piézomètre de Cuhon1, la cote de débordement est située autour de 88 m NGF (le Callovien affleure autour de cette cote dans les environs de Mazeuil). Sur ce même piézomètre, le modèle, où l'influence des prélèvements est moins marquée que sur la chronique réelle, restitue un seuil bas autour de 84 m NGF (ill. 13). Ce seuil est assez proche de la cote de la Grimaudière (82/83 m NGF) et le maintien de cette cote sur le piézomètre permet d'assurer un gradient dans la nappe dans la partie amont du bassin de la Dive et de fait de limiter l'impact des prélèvements sur le débit de la source.

➤ Jurassique supérieur

Le piézomètre de Cuhon 2 caractérise un aquifère libre, fissuré, mais relativement homogène, avec des transferts assez lents. Le seuil de débordement autour de 97 m NGF correspond à la cote de la rivière proche. Les pompages se marquent également sur la chronique. La comparaison entre les graphes de Cuhon (illustration 12) montre que le niveau piézométrique de la nappe du Jurassique supérieur reste toujours au-dessus (de l'ordre de 8 m) du niveau de la nappe du Dogger.

Enfin, le piézomètre de Guesnes, plus difficile à caler, témoignerait de relations entre la nappe du Cénomaniens sableux et la nappe de milieu fissuré de l'Oxfordien sous-jacente. Des transferts lents coexistent avec des transferts rapides.

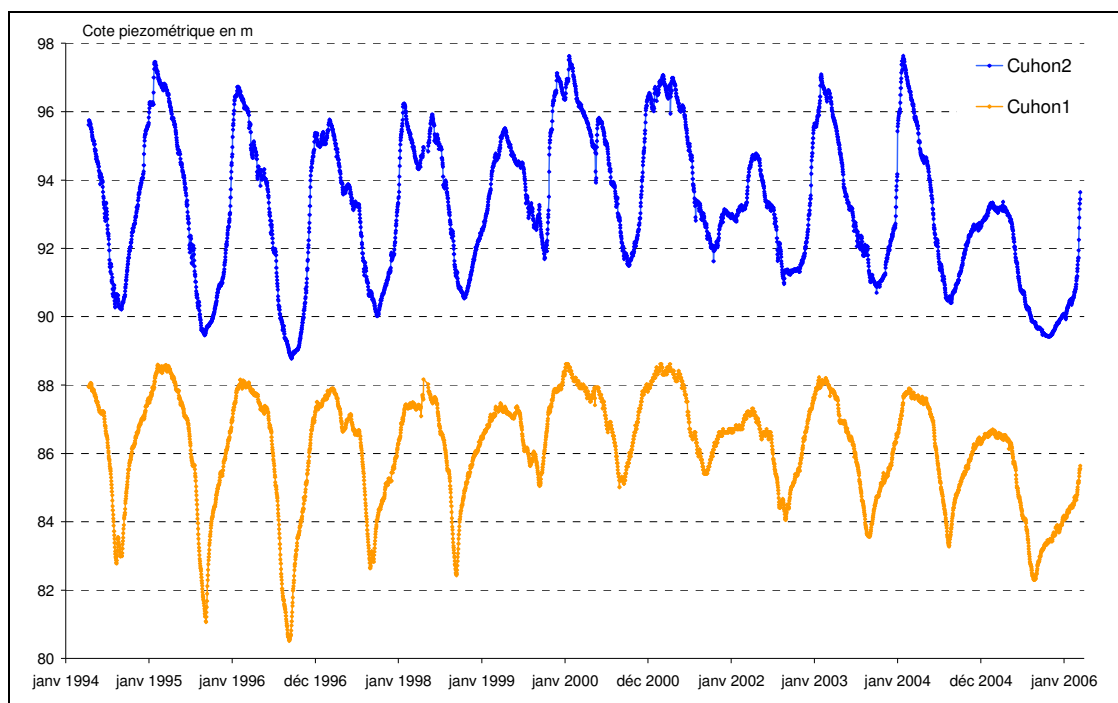


illustration 12 : Comparaison de l'évolution des niveaux enregistrés sur Cuhon 1 (Dogger) et 2 (Jurassique sup.) [source des données : Conseil Régional/ORE]

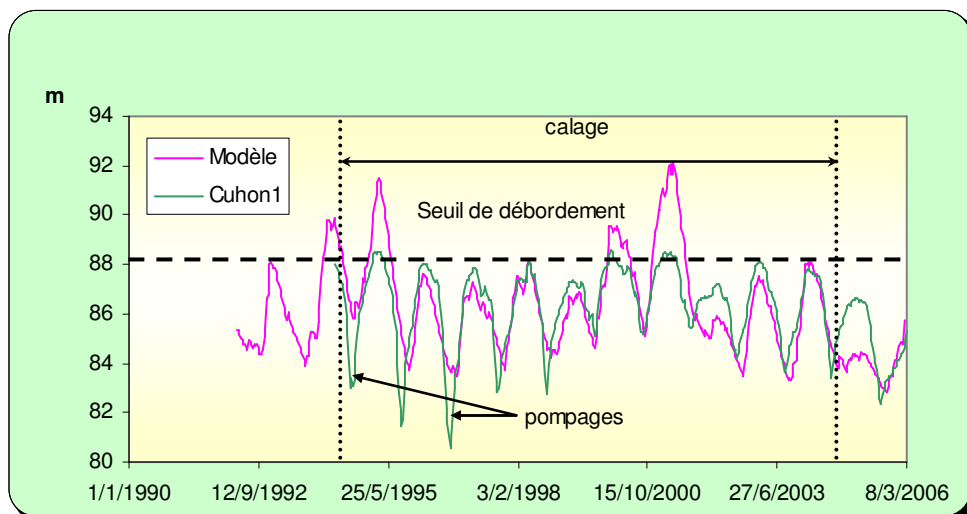


illustration 13 : Modélisation du piézomètre de Cuhon1 (Dogger) avant prise en compte des débordements et des pompages (cf. annexe II)

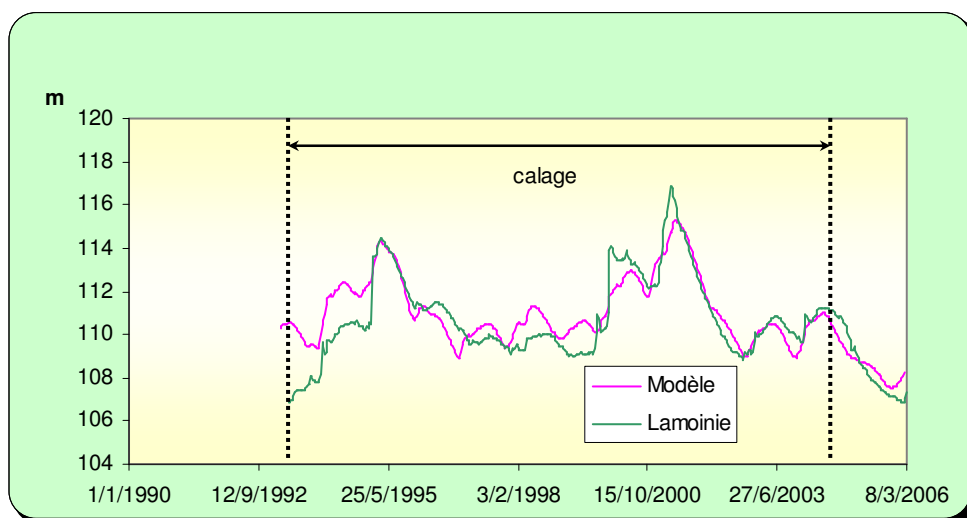


illustration 14 : Modélisation du piézomètre de Lamoinie (Dogger) : calage du modèle entre 1993 et fin 2004, simulation avec des pluies réelles sur 2005/début 2006.

Recherche de seuils de gestion

Sur Lamoinie, la chronique 2005 est assez fidèlement reproduite par le modèle. De par sa situation à l'amont de la source de la Grimaudière, ce piézomètre est intéressant pour la gestion du bassin de la Dive.

La modélisation du débit de la rivière a été réalisée en utilisant les mesures de la station de Moulin de Retournay et le piézomètre de Lamoinie. La corrélation est correcte et montre une nette participation des eaux souterraines au débit de la rivière (ill.17). Le calage du modèle est très satisfaisant pour les périodes de basses eaux, mais beaucoup moins pour les périodes de hautes eaux. Les pics de crue sont beaucoup moins accentués sur le modèle que dans la réalité, ce qui peut s'expliquer par le débordement des aquifères, phénomène observé sur plusieurs graphes piézométriques. Le modèle est toutefois assez mal calé pour les cycles 2004/2006, années atypiques à faible recharge hivernale. La forte inertie du système qui caractérise le bassin de la Dive et le faible recul que nous avons au regard des historiques explique vraisemblablement ces écarts. En effet, les historiques (postérieurs à 1992) ne prennent pas en compte de grande période sèche comme en 1989/1992 ou plus récemment 2004/2006. Compte tenu de l'inertie, l'impact de ces périodes se fait sentir sur plusieurs années, contrairement à la plupart des bassins versants traités.

Un travail similaire a été réalisé en utilisant la chronique de Cuhon¹ et les débits à Moulin de Retournay. Le calage est beaucoup moins satisfaisant montrant une participation moins importante des eaux de la nappe captive du Dogger dans le secteur de Cuhon au débit de la Dive. Cuhon se situe en effet dans une zone de crête piézométrique où les circulations souterraines se partagent entre la Dive et la nappe profonde.

Le générateur de pluie a ensuite été utilisé pour simuler, à partir des différents modèles (Lamoinie, Cuhon, Retournay) la situation en 2011 de manière à s'affranchir des conditions initiales. Après analyse statistique, les graphes de l'évolution piézométrique et hydrologique durant cette année de référence pour différentes périodes de retour ont été tracés. On recherche ensuite sur les graphes de la station de Retournay les valeurs d'étiage correspondant aux débits de gestion : **DCR (0.2 m³/s)** et **DOE (0.6 m³/s)**.

En dehors des prélèvements saisonniers, la situation de crise correspondant à un débit inférieur au DCR aurait une période de retour de l'ordre de 40 ans (durée au-delà de laquelle il est difficile d'utiliser le modèle compte tenu des historiques disponibles). L'année 2005, dont la courbe réellement observée est proche de l'évolution donnée par le modèle pour une telle période de retour, a vu le débit de la rivière tomber au-dessous du DCR en août pendant quelques jours (cf. illustration 20).

Des valeurs inférieures au DOE seraient atteintes entre une année sur deux et une année sur 3.

Par ailleurs, la courbe 5 ans secs (on reste au-dessus 4 années sur 5 dans des conditions « pseudo-naturelles ») correspond à un débit d'étiage de 0.5 m³/s.

A partir des graphes similaires obtenus avec les modèles de Lamoinie et de Cuhon1, on peut dresser le tableau de correspondance ci-dessous.

DIVE NORD	Médiane (proche du DOE en août/septembre)			Période de retour de 40 ans (proche du DCR en août/septembre)			Observé en 2005 (proche de la courbe DCR)	
	Lamoinie	Cuhon1	Retournay m ³ /s	Lamoinie	Cuhon1	Retournay m ³ /s	Lamoinie	Retournay m ³ /s
01-mars	111.3	86.9	1.66	108.76	84.5	0.71	108.7	0.6
01-avr	111.45	86.7	1.4	108.86	84.5	0.69	108.5	0.55
01-mai	111.56	86.5	1.2	108.86	84.5	0.54	108.4	0.45
01-juin	111.45	86	1.01	108.84	84.2	0.47	108	0.4
01-juil	111.26	85.4	0.8	108.72	83.9	0.37	107.8	0.3
01-août	110.87	84.8	0.67	108.45	83.5	0.28	107.6	0.22
01-sept	110.44	84.1	0.57	108.15	83.2	0.23	107.5	0.22
01-oct	110.2	84.2	0.67	107.9	83	0.21	107.4	0.22

illustration 15 : Valeurs de débits mesurées en 2005 à la station de Retournay comparées aux valeurs issues des simulations non conditionnelles pour les périodes de retour d'une année sur 2 (proche du DOE atteint à l'étiage) et de 40 ans (> au DCR à l'étiage) et niveaux piézométriques correspondants.

En matière de gestion, les valeurs mesurées sur le piézomètre et sur la rivière au printemps peuvent être comparées à ces courbes théoriques pour prévoir l'évolution des courbes observées pendant l'été. Les graphes des illustrations 19 et 20 comparent les courbes DOE (médiane) et DCR (40 ans) aux historiques disponibles. L'année 2005 reflète bien une situation exceptionnelle à périodicité de retour de 40 à 50 ans.

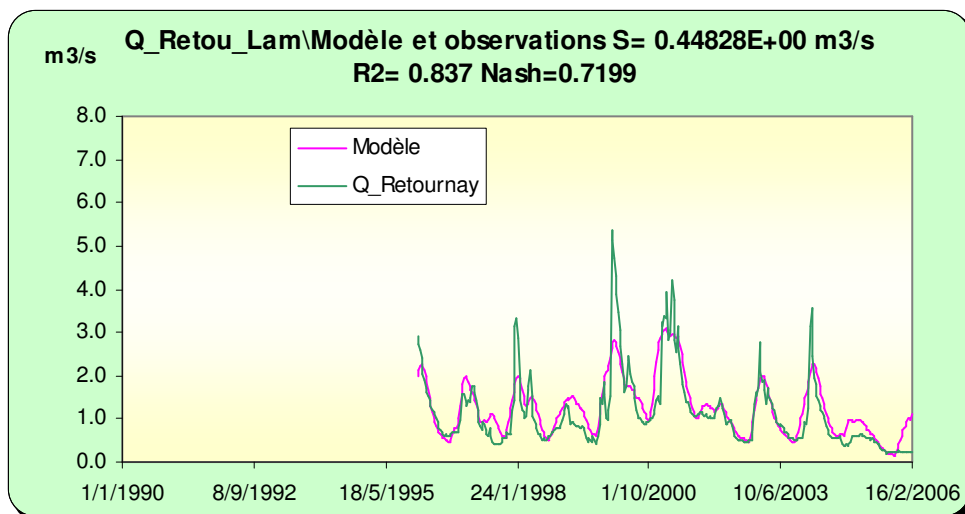


illustration 16 : Résultat du calage des débits au Moulin de Retournay

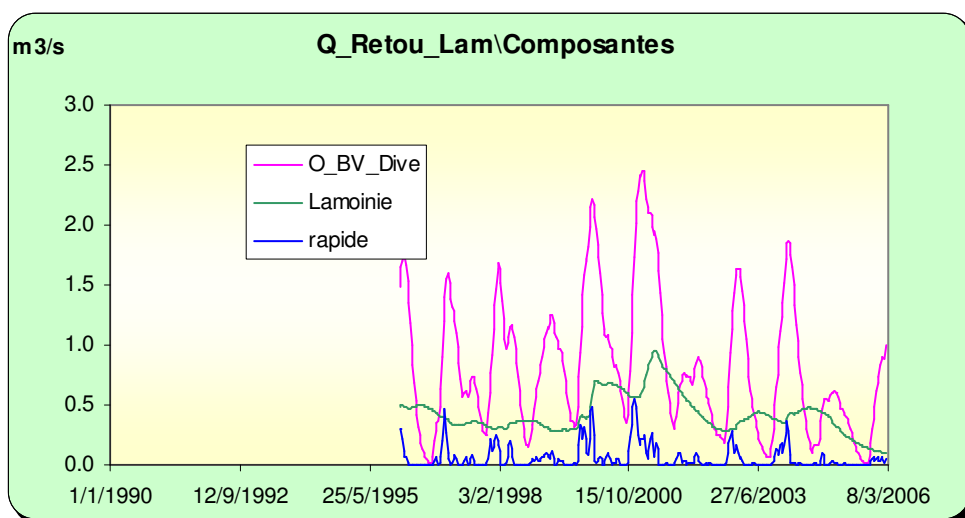


illustration 17 : Contribution des écoulements rapides (karst), des circulations lentes dans le réservoir souterrain du Dogger (Lamoinie) en rive gauche et des ruissellements superficiels (O_BV_Dive) au débit de la Dive à Moulin de Retournay

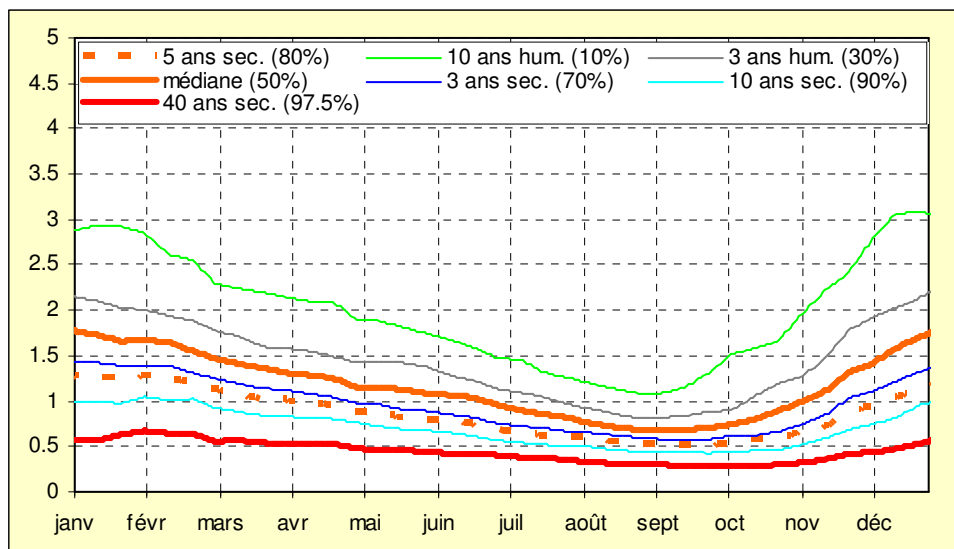


illustration 18 : Valeurs par pas de temps des débits à Moulin de Retournay calculées pour différentes périodes de retour (simulation non conditionnelle)

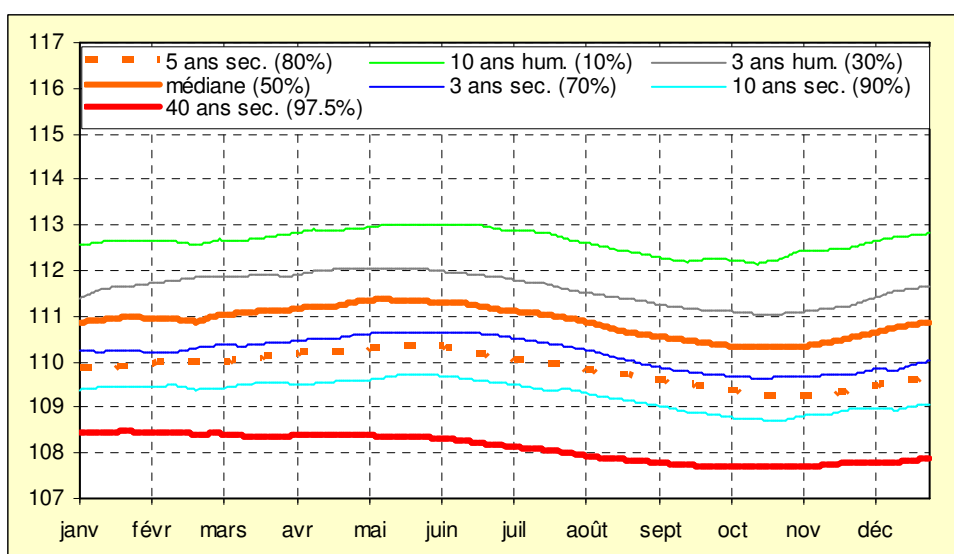


illustration 19 : Valeurs par pas de temps des niveaux à Lamoinie calculées pour différentes périodes de retour (simulation non conditionnelle)

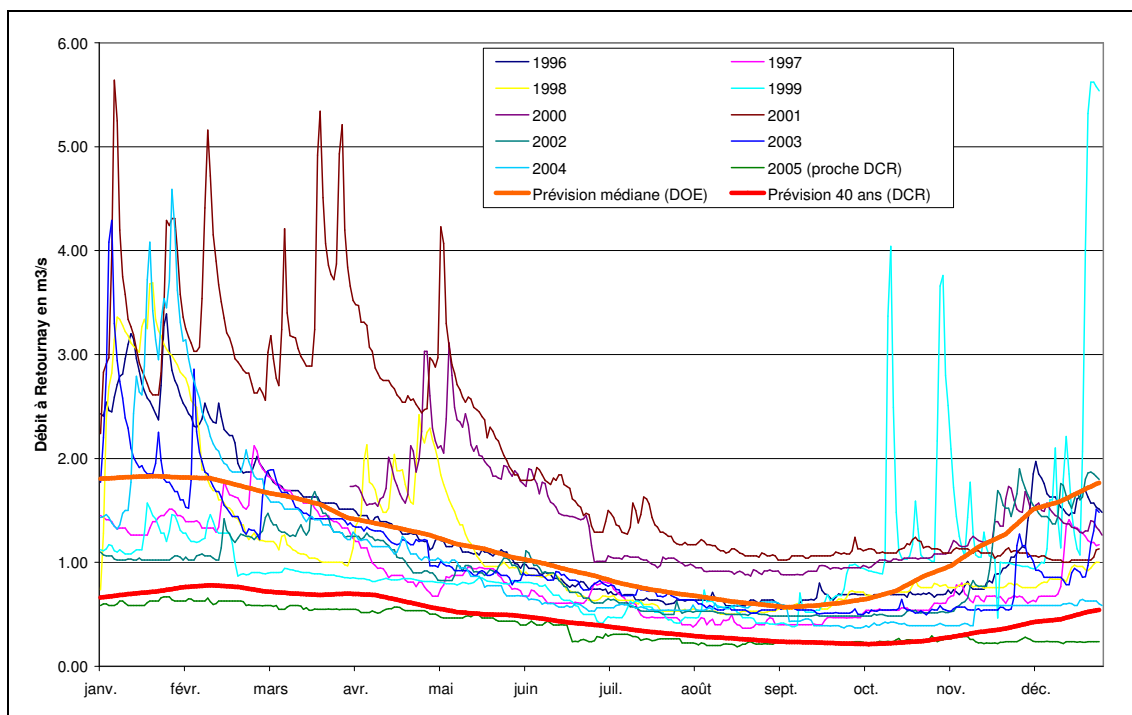


illustration 20 : Comparaison des débits mesurés à Moulin de Retournay et des débits calculés par le modèle.

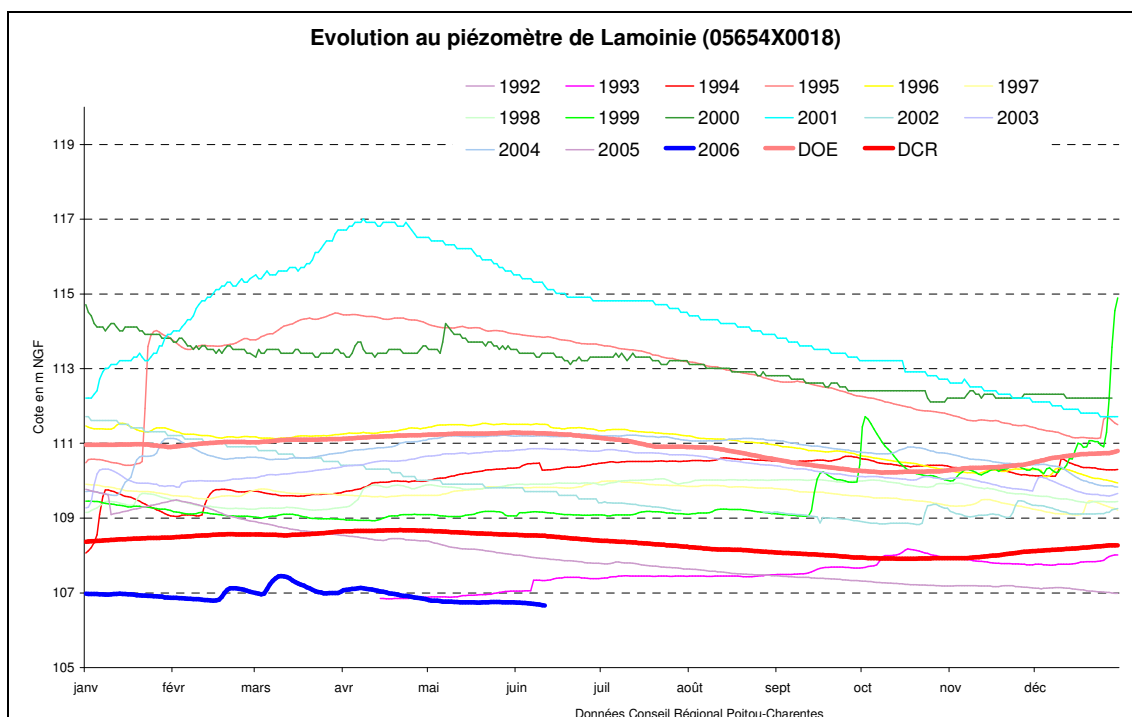


illustration 21 : Comparaison des niveaux mesurés à Lamoinie et des niveaux calculés

Approche sur les volumes disponibles

A partir des courbes théoriques obtenues pour la rivière à Moulin de Retournay, on peut calculer des volumes disponibles par rapport à la courbe DOE et à la courbe DCR. Ces volumes sont calculés en se basant sur le scénario d'exploitation suivant : 10 % du volume total en mars, en avril et en mai, 20 % en juin, 30 % en juillet et 20 % en août (cf. partie méthodologique). Le modèle restitue les volumes théoriquement disponibles sur le bassin versant de la station de Retournay, en dehors des prélèvements non saisonniers (AEP).

Le tableau suivant compare les volumes disponibles calculés pour différentes périodes de retour aux niveaux théoriques au premier mars et au premier avril sur le piézomètre de Lamoinie et sur la rivière. Une règle de 3 est ensuite appliquée pour transposer les volumes à l'ensemble du bassin de la Dive (985 km² pour 254 km² pour le bassin de Retournay) (sur les départements de la Vienne et des Deux-Sèvres uniquement et pour l'unité de gestion Dive superficiel). Nous sommes conscients que cette approche n'est pas pleinement satisfaisante, mais l'état actuel des connaissances ne permet pas d'avancer des chiffres plus précis. L'historique des volumes annuels prélevés est rappelé pour l'AEP et pour l'agriculture. Ces volumes sont aussi moyennés sur les 5 années.

	DIVE du Nord	LAMOINIE m NGF		RETOURNAY (m ³ /s)		Volume disponible par rapport DOE (Mm ³)		Volume disponible par rapport DCR (Mm ³)	
		1er Mars	1er Avril	1er Mars	1er Avril	BV Retournay	BV DIVE (Superf.)	BV Retournay	BV DIVE (Superf.)
Résultats de la modélisation des chroniques	40 années humides (2.5 %)	113.97	114.31	3.74	3.22	10	39	14	54
	10 années humides (10 %)	112.91	113.08	2.58	2.22	6	23	10	39
	3 années humides (30 %)	111.93	112.07	2	1.7	3	12	8	31
	Médiane (50 %)	111.3	111.45	1.65	1.4	1	4	5	19
	3 années sèches (70 %)	110.56	110.72	1.39	1.18	0	0	5	19
	10 années sèches (90 %)	109.83	109.92	1.1	0.93	-3	-12	3	12
	40 années sèches (97.5 %)	108.76	108.86	0.71	0.69	-10	-39	1	4
Prélèvements agricoles - DIVE_SUPERF (m ³)	2000								890 459
	2001								754 183
	2002								2 917 163
	2003								2 612 519
	2004								3 018 578
Prélèvements AEP - DIVE_SUPERF (m ³)	2000								2 859 112
	2001								2 042 235
	2002								2 121 538
	2003								3 298 934
	2004								?
Moyenne des prélèvements (m ³)	Agricole								2 038 580
	AEP								2 580 455
	Agricole + 1/2AEP								3 328 808

illustration 22 : Volumes disponibles calculés à partir des courbes théoriques d'évolution données par le modèle (Dive superficiel), comparaison avec les historiques de prélèvements constitués à partir des fichiers DDAF et AEP)

3.3 SYNTHÈSE

En rive gauche, la Dive est principalement alimentée par la nappe du Dogger qui dispose là de caractéristiques intéressantes : stocks vraisemblablement importants, karstification "modérée" entraînant une certaine inertie du système, peu de débordement d'où des capacités de stockage accrues. Pour cette nappe, le bassin versant topographique ne correspond pas obligatoirement au bassin hydrogéologique : le ruisseau de l'Homme a été intégré au bassin de la Dive dans la mesure où une partie de ses pertes rejoint cette dernière, en revanche au Sud-Est le bassin hydrogéologique de la Pallu empièterait sur le Bassin versant topographique de la Dive.

En rive droite et dans la partie amont, la nappe du Jurassique supérieur vient aussi alimenter la Dive. Toutefois, aquifère de milieu fissuré, cette nappe dispose d'assez peu de réserves et les transferts vers les cours d'eau sont rapides. Dans la partie amont du bassin, au-dessus de la Grimaudière, le niveau de la nappe descend rapidement au-dessous de celui des rivières, ce qui entraîne des assecs de ces dernières. L'impact des prélèvements se matérialise par l'avancement dans le temps de ces assecs.

Compte tenu de la géologie, du sens des écoulements souterrains et du différentiel piézométrique, la nappe du Jurassique supérieur se déverse vraisemblablement dans celle du Dogger.

La nappe du Cénomanien, et dans une moindre mesure celle du Turonien qui coiffe les coteaux, contribuent également à alimenter les cours d'eau. Les sables du Cénomanien disposent de capacités d'emménagement élevées mais de transmissivités relativement faibles, ce qui permet un soutien efficace des étiages.

En matière de gestion, le piézomètre de Lamoinie, à l'amont de la source de la Grimaudière, apparaît bien représentatif de l'état des réserves souterraines dans le bassin et bien corrélable avec le débit de la rivière à Moulin de Retournay. Le piézomètre de Cuhon¹ au Dogger, actuellement utilisé, est lui moins représentatif car situé dans une zone de crête piézométrique où les eaux hésitent entre rejoindre la Dive ou s'écouler en profondeur vers le bassin de Paris. Sur ce piézomètre, la cote de 84 m NGF est un seuil critique à ne pas dépasser pour maintenir un certain gradient piézométrique avec la source de la Grimaudière (la mise en place sur cette source, si ce n'est déjà fait, d'un repère coté NGF est vivement recommandé).

La modélisation des différentes chroniques montre que le débit de la rivière passerait « naturellement » au-dessous du DCR à Moulin de Retournay 2 à 3 fois par siècle. En revanche, le DOE est atteint une année sur deux, ce qui veut dire qu'une année sur 2 le bassin versant est déficitaire vis-à-vis de cet objectif. Par ailleurs, la modélisation donne un débit d'étiage de 0.5 m³/s pour une période de retour de 1 année sur 5.

En résumé cette analyse conduit aux propositions suivantes :

- mise en place de 2 zones de gestions : l'une relative aux nappes superficielles en relation avec les rivières, l'autre correspondant aux aquifères profonds qui s'écoulent vers le bassin de Paris. Pour la gestion de cette dernière, des indicateurs devront être recherchés au moment du traitement des bassins voisins à l'Est et au Nord.

- le piézomètre de Lamoinie est proposé comme indicateur de l'état global de la ressource (par exemple maintien du niveau de la nappe au-dessus de 110 m NGF au printemps, au-dessus de 109 m l'été). Il pourrait être complété par des objectifs de débit à Moulin de Retournay ou à la Grimaudière, par des piézomètres de gestion locale comme celui de Cuhon 1 (ce qui suppose une remontée significative des seuils actuels sur ce piézomètre).

- le DOE actuel ($0.6 \text{ m}^3/\text{s}$) paraît surestimé ; la valeur de $0.5 \text{ m}^3/\text{s}$ à Moulin de Retournay apparaît plus en accord avec un objectif respecté 4 années sur 5.

4 Le bassin versant du Clain

4.1 CONTEXTES GEOLOGIQUE ET HYDROGEOLOGIQUE

Situé à l'extrémité méridionale du Bassin Parisien, entre Massif Armoricain et massif Central, le bassin versant du Clain est traversé par de grandes failles, orientées en général NO-SE (direction nord armoricaine), qui jouent un rôle géologique et hydrogéologique important.

Le Clain, la Vonne et l'Auxance prennent leur source sur des zones de socle formées principalement de granitoïdes. Sur ces zones, le chevelu hydrographique est dense traduisant la prépondérance du ruissellement superficiel.

D'un point de vue géologique, au-dessus de ce socle, qui affleure localement en fond de vallée (Ligugé, Champagné-St Hilaire...), on trouve les terrains du Lias constitués de faciès variés : argiles, sables, calcaires et dolomies de l'Hettangien-Sinémurien, arkose, grès, calcaires du Pliensbachien, marnes du Toarcien (et de l'Aalénien). L'Infra-Toarcien renferme une nappe importante avec un réservoir relativement peu épais (quelques dizaines de mètres) mais bien karstifié et fissuré. Le Clain, la Vonne, l'Auxance circulent sur le Lias sur une grande partie de leur cours.

Au-dessus du Lias viennent les calcaires du Dogger au sein desquels la karstification est bien développée et qui sont entaillés par les vallées. Ce massif karstique forme les plateaux d'une grande partie du bassin du Clain. Les calcaires sont surmontés par des terrains sablo-argileux, plus ou moins épais, produits de leur altération combinés avec des dépôts fluviaux et éoliens. Ces terrains, qui recouvrent presque partout le Dogger, emmagasinent les eaux de pluie mais présentent en général des perméabilités médiocres. Ils viennent ainsi alimenter lentement l'aquifère karstique sous-jacent comme en témoignent les nombreuses figures karstiques (dolines, dépressions fermées...) que l'on peut y observer.

Au Nord de Poitiers, entre l'Auxance et la Pallu, et au Sud dans la dépression de Lezay, on trouve à l'affleurement les terrains du Jurassique supérieur. Il s'agit d'une cinquantaine de mètres de formations calcaréo-marneuses d'âge oxfordien. Ces formations sont globalement imperméables mais, en surface, sous l'effet de l'altération et de la fissuration, une nappe en relation étroite avec les cours d'eau s'y développe. Elle est en général limitée aux 20 premiers mètres et constitue un aquifère fissuré sans réelle capacité de stockage. On discerne toutefois dans ces séries des passages latéraux à des termes plus carbonatés qui peuvent développer de meilleures propriétés réservoir : calcaires de l'Oxfordien inférieur et moyen, calcaires de Fors...

Au Nord de la Pallu affleure le Crétacé supérieur discordant sur le Jurassique supérieur. Les sables et les calcaires du Cénomani renferment un aquifère multicouche, capacitif mais assez peu transmissif, bien développé vers le Nord dans le Bassin de Paris.

En dehors des zones de socle, où le ruissellement est prépondérant, des nappes du jurassique supérieur au Nord (Pallu) et au Sud (Dive-Bouleure), de la nappe du Cénomanién à l'extrémité septentrionale du bassin versant, "l'hydrosystème" du bassin du Clain repose essentiellement sur deux grands aquifères superposés : à la base, la nappe de l'Infra-Toarcien, captive sous les marnes du Toarcien (voire Aalénien), et au-dessus la nappe karstique du Dogger à recouvrements sablo-argileux du Tertiaire. La plupart des forages concernent ces deux nappes.

L'alimentation de la nappe infra-toarcienne reste assez mal connue. Toutefois, les cycles piézométriques annuels (recharge/vidange) et des ressources parfois abondantes suggèrent des relations assez étroites avec les rivières d'une part, et la nappe du Dogger d'autre part. L'examen des profils en long des rivières (cf. planches hors texte) montre que celles-ci circulent au-dessus de cet aquifère (souvent sur le Toarcien), et que le niveau piézométrique de la nappe infra-toarcienne se retrouve en général au-dessus du niveau de la rivière en hautes eaux et au-dessous en basses eaux. Les échanges sont possibles entre la nappe et la rivière surtout dans les zones faillées.

Le Dogger karstique est alimenté, nous l'avons vu, soit directement soit à travers la couverture sablo-argileuse. Sur les plateaux, le niveau piézométrique de la nappe est en général à une profondeur de plusieurs dizaines de mètres. Dans les vallées, qui entaillent souvent le Dogger sur toute son épaisseur, la nappe ressort à travers de nombreuses sources situées quasiment à la base de l'aquifère. Ces sources constituent une ressource pour les rivières et il est important de veiller à maintenir un gradient piézométrique positif entre la nappe sous les plateaux et les niveaux de base que forment ses sources et les rivières.

La piézométrie de la nappe du Dogger, nappe la plus importante de ce bassin versant, permet de dessiner les contours du bassin versant hydrogéologique du Clain. Dans ces systèmes karstiques, celui-ci ne correspond pas obligatoirement au bassin topographique. A partir de l'état actuel des connaissances, on peut approcher la délimitation du bassin hydrogéologique. Les divergences entre les deux bassins actuellement connues sont (ill. 24) :

- au Nord, le bassin de la Pallu intercepterait une très petite partie du bassin topographique de la Dive,
- au Sud-Ouest, une partie du bassin de la Vonne, qui correspond à une crête topographique coiffée par des formations du Tertiaire et à l'alimentation des sources de la vallée du Pamproux, et la partie amont du bassin de la Dive du Sud, qui se perd totalement en été dans la nappe du Dogger entre Lezay et Rom, sont à amputer au bassin du Clain au profit du bassin de la Sèvre Niortaise ;
- au Sud, la limite avec le bassin de la Charente reste à préciser ;
- à l'Est, la limite avec le bassin de la Vienne correspond à une zone où la piézométrie est relativement "plate", avec des gradients très faibles. Le

bassin hydrogéologique de la Vienne empiéterait d'une manière importante sur le bassin topographique du Clain.

Du fait que la plupart des affluents du Clain constituent le drain presque unique (les cours d'eau sont rares sur les plateaux) des écoulements des nappes, il est proposé de découper, pour la gestion, le bassin du Clain en plusieurs sous bassins au fonctionnement relativement autonome :

- le sous bassin de la Pallu caractérisé en rive droite par la superposition de la nappe du Jurassique supérieur sur la nappe du Dogger, et en rive gauche par les apports des aquifères du Crétacé supérieur,
- le sous bassin de l'Auxance, qui prend sa source sur du socle et circule sur les marnes du Toarcien/Aalénien sur environ 1/3 de son cours,
- le sous bassin de la Boivre découpé par plusieurs failles importantes,
- le sous bassin de la Vonne, qui prend aussi sa source sur du socle, circule sur le Lias et est amputé d'une partie de son bassin topographique,
- le sous bassin de la Dive de Couhé/Bouleure,
- le sous bassin du Clain amont et moyen, qui s'étend de sa source sur le socle jusqu'à Poitiers, et qui correspond pour l'essentiel à l'interfluve entre le Clain et la Charente et aux bassins versants des petits affluents latéraux,
- le sous bassin de la Clouère, du Miosson et des sources de Sarzec, vaste ensemble karstique caractérisé par l'interfluve entre la Vienne et le Clain. Toutefois, les bassins versants de Sarzec et du Miosson pourraient être individualisés ajoutant une huitième zone de gestion.

Chacun de ces sous bassins a fait l'objet d'une recherche d'indicateurs de gestion à partir des chroniques suffisamment longues disponibles dans le réseau régional. Les pluies données par les stations de La Rochelle, de Loudun et de Nuaillé, combinées à l'ETP à Poitiers, ont été utilisées dans la modélisation des chroniques.

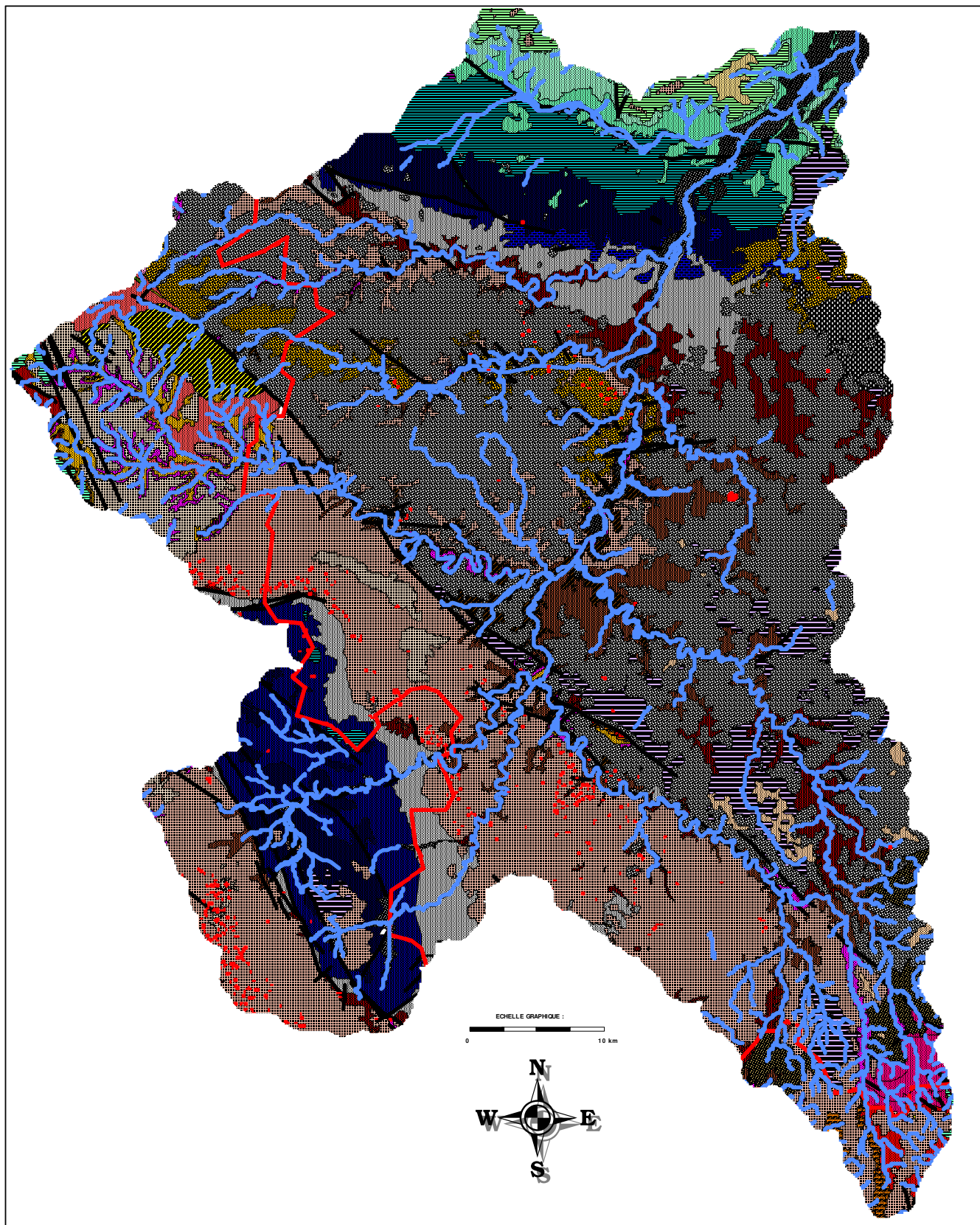


illustration 23 : Carte géologique du bassin topographique du Clain (cf. annexe 1 pour la légende)

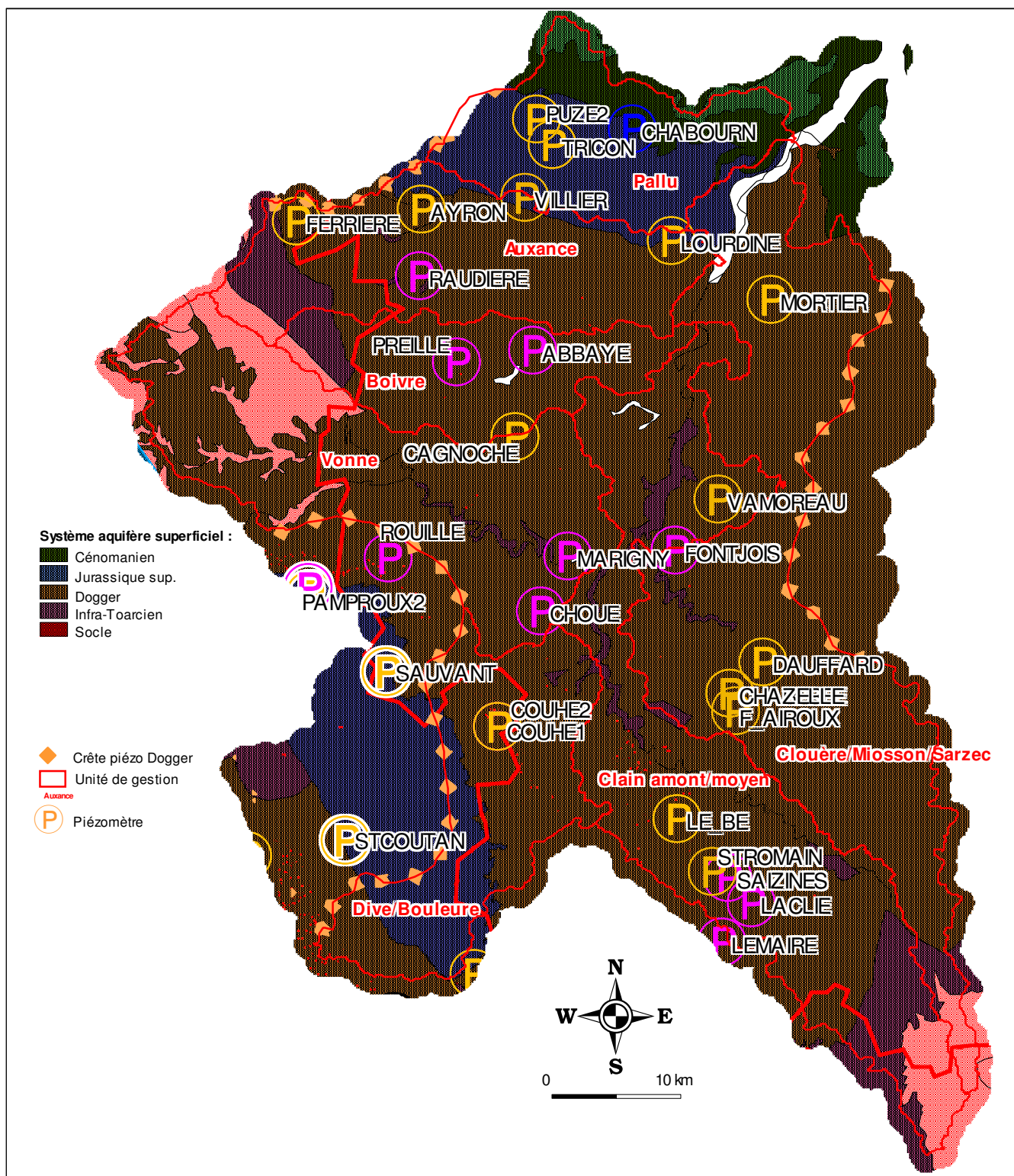


illustration 24 : Synthèse hydrogéologique du bassin du Clain, contours des unités de gestion

4.2 SYNTHESE DE LA MODELISATION

4.2.1 Sous bassin de la Pallu

Analyse des chroniques piézométriques

Dans le bassin versant de la Pallu, les nappes sont suivies sur 4 piézomètres du Conseil Régional : Puzé2 et Tricon à la nappe du Dogger, Puzé1 et Chabournay au Jurassique supérieur. Du fait de la nécessité de faire un choix (cf. cahier des charges de l'opération) Tricon a été écarté de l'analyse car c'est un ouvrage AEP très influencé par les pompages et de plus non utilisé actuellement dans la gestion.

Le piézomètre de Puzé1, utilisé dans la gestion de la nappe du Jurassique supérieur, montre des battements annuels de l'ordre de 6 m. Le modèle permet de souligner une cote de débordement autour de 95.8 m NGF, c'est à dire la cote de la rivière à proximité. L'influence des pompages estivaux se marque surtout avant 1999 du fait de leur importance. La chronique de Puzé1 caractérise un aquifère relativement homogène et à transmissivité assez élevée, de milieu fissuré. Les transferts rapides ont une incidence marginale sur le niveau de la nappe. Les transferts sont principalement lents avec un pic autour de 3 mois et avec un retour à l'état initial inférieur à l'année après l'impulsion de pluie.

Le piézomètre de Chabournay au Jurassique supérieur montre un comportement très similaire à Puzé1 : battements annuels de quelques mètres, composante principale lente avec un pic autour de 3 mois et un retour à l'état initial au bout d'une année. Mais ce piézomètre montre aussi un seuil bas très net, autour de la cote 78 m NGF, interprété comme un soutien d'étiage de la nappe par la rivière Pallu, elle-même soutenue par les apports des nappes du Crétacé dans le secteur. Ce seuil bas rend le calage du modèle difficile. Au cours de l'été 2005, le niveau du piézomètre est descendu nettement plus bas que ce seuil, traduisant vraisemblablement l'assèchement complet de la rivière dans cette période d'étiage exceptionnel.

Le piézomètre de Puzé2 au Dogger montre un seuil de débordement (vraisemblablement au niveau de l'ouvrage) et un impact important des pompages. Malgré l'introduction dans le modèle d'une fonction pompage, le calage en basses eaux reste peu satisfaisant. Par ailleurs, la composante lente présente un pic au bout d'environ 4 mois et un retour à l'état initial après impulsion en moins d'une année.

Il ressort de l'observation et de l'analyse des graphes un comportement assez similaire des nappes du Jurassique supérieur et du Dogger, même si cette dernière est nettement plus impactée par les pompages. En dehors de l'impact des pompages, les piézomètres de Puzé montrent des piézométries assez proches entre les nappes du Dogger et du Jurassique supérieur. Les campagnes piézométriques réalisées sur ce bassin conduisent à la même conclusion, avec une polarité Est-Ouest. Le différentiel piézométrique apparaît de plus en plus faible en allant vers l'Est. L'éponte entre les

deux nappes doit être considérée plus comme un semi-perméable qu'un imperméable. Il en découle une proposition de gestion commune des deux nappes.

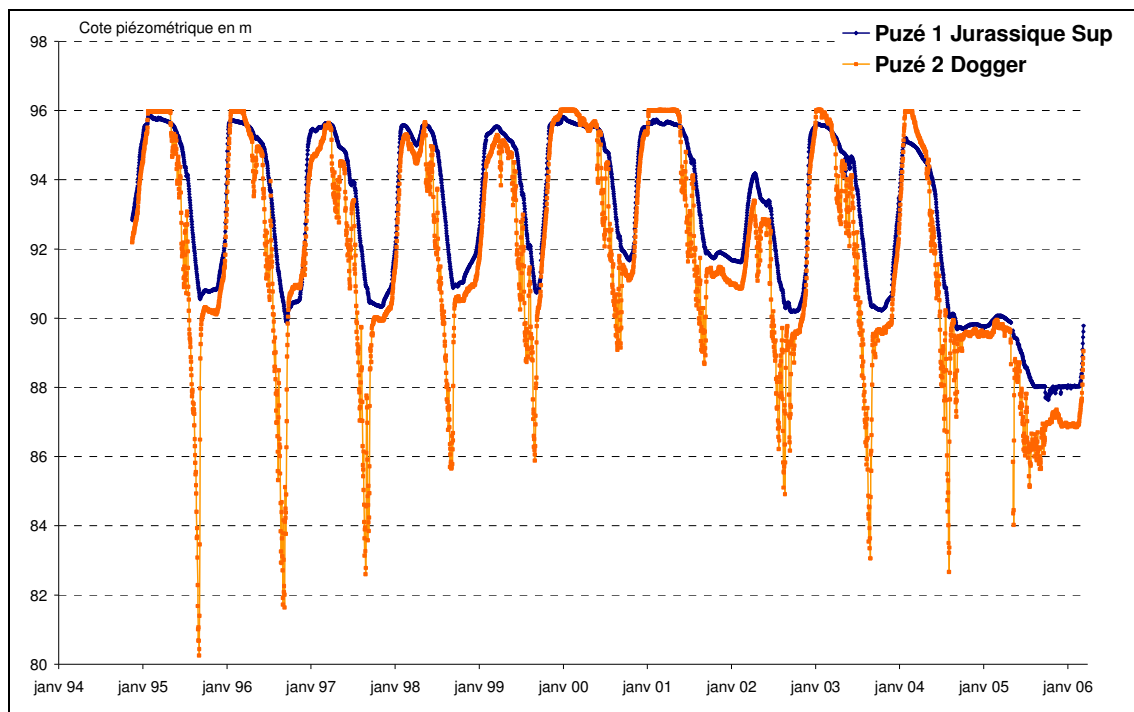


illustration 25 : Comparaison des niveaux de Puzé1 (Jurassique sup.) et 2 (Dogger)

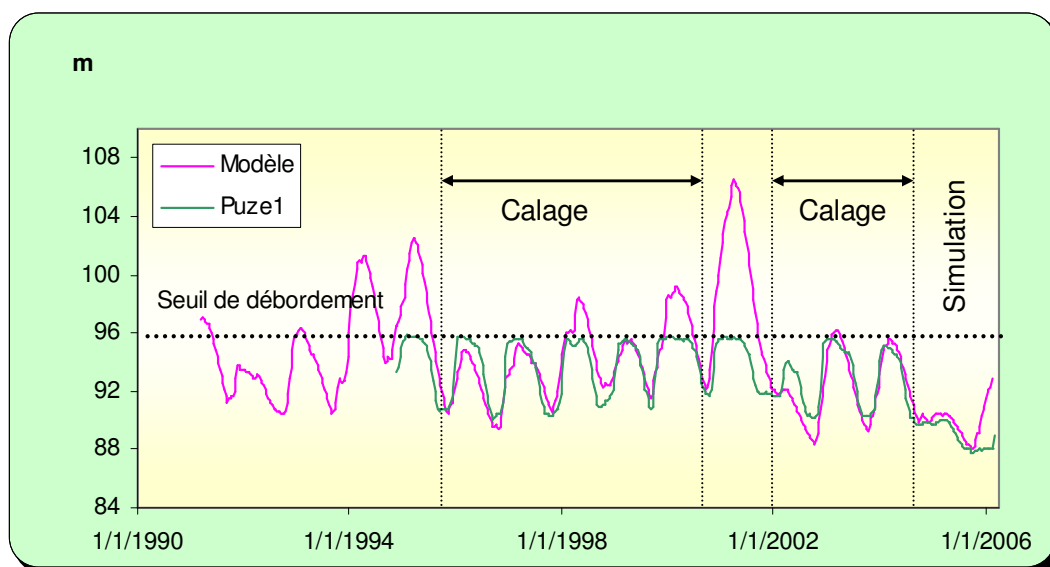


illustration 26 : Modélisation du piézomètre de Puzé1 (Dogger) : calage du modèle entre 1993 et fin 2004 (avant prise en compte d'un seuil de débordement), simulation avec des pluies réelles sur 2005/début 2006.

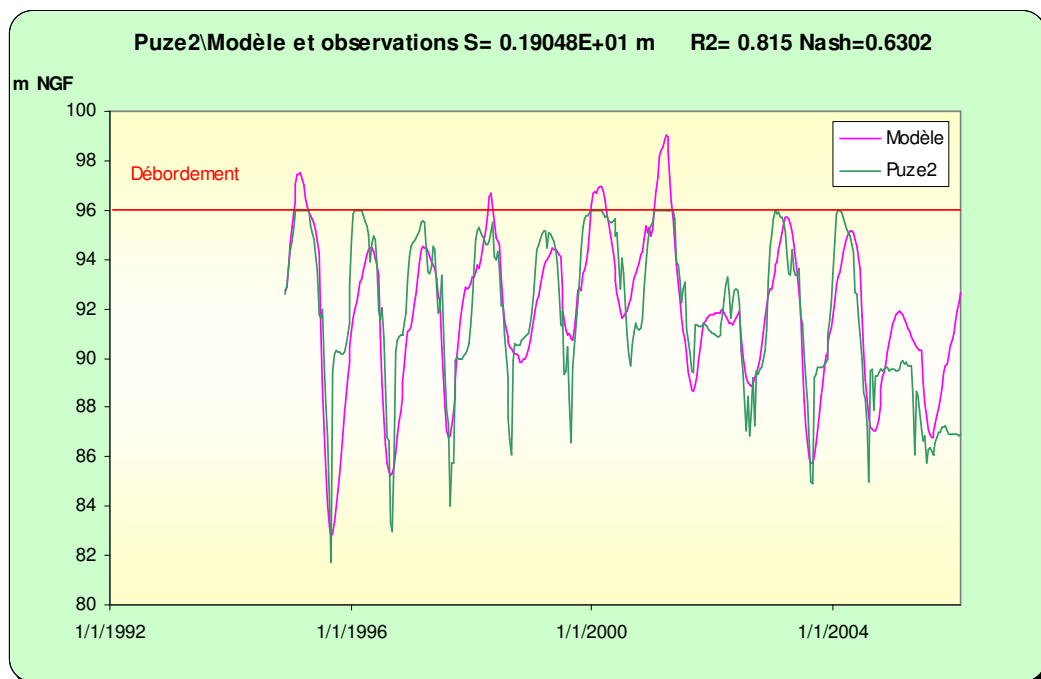


illustration 27 : Modélisation du piézomètre de Puze2 (Dogger), avec introduction d'une fonction pompage

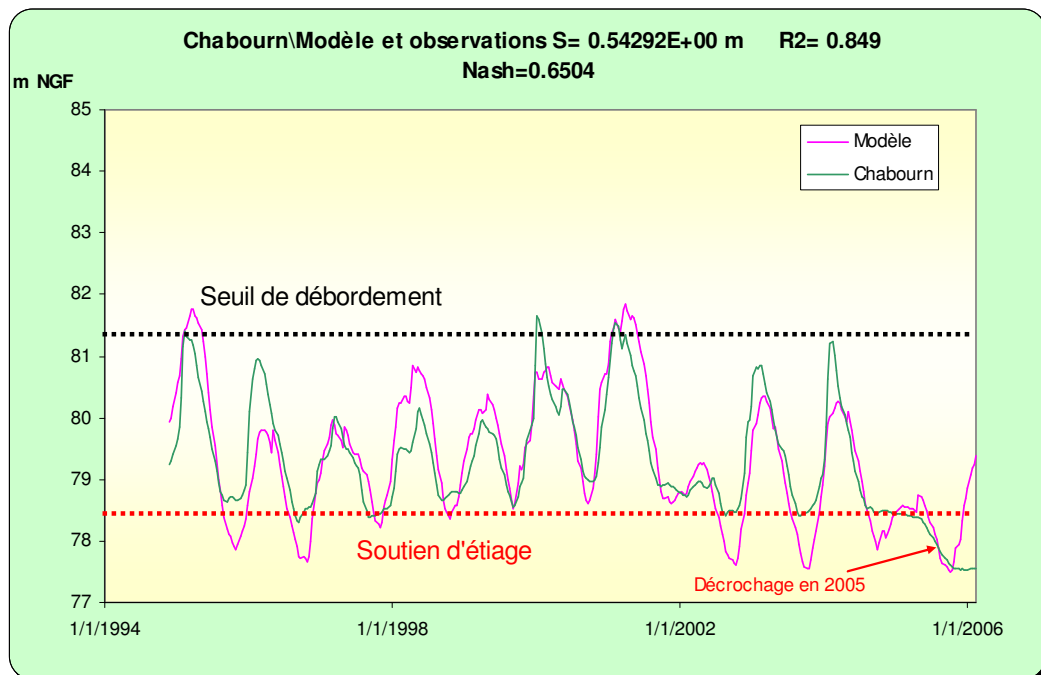


illustration 28 : Modélisation du piézomètre de Chabournay (Jurassique supérieur) après introduction d'un seuil de débordement

Recherche d'indicateurs de gestion

L'absence de station de mesure de débit dans le bassin de la Pallu ne permet pas d'adopter la même démarche que pour les autres bassins en ce qui concerne la recherche de modalités de gestion. L'analyse des piézométries montre qu'assez rapidement, une fois la vidange amorcée, le niveau des nappes du Jurassique passe au-dessous des niveaux des cours d'eau, rendant les assecs difficiles à éviter du moins dans la partie amont (au-dessus de Blaslay) qui ne reçoit pas d'apports des nappes du crétacé. L'impact des prélèvements se matérialise principalement par l'avancée de ces assecs dans le temps.

Compte tenu de cette configuration hydrogéologique, la gestion de ce bassin sur le long terme passe par la mise en place d'aménagements (retenues, zones humides, seuils, entretien des moulins...) permettant de "freiner" le départ des eaux, à l'inverse de ce qui a été réalisé il y a quelques décennies avec la suppression des divagations du cours d'eau et l'intensification des drainages.

En l'absence de mesure de débits, la recherche de modalité de gestion des prélèvements procède par analogie avec le bassin versant voisin de la Dive du Nord dont les caractéristiques hydrogéologiques sont assez proches de celles du bassin de la Pallu. Les modèles ont permis de calculer les courbes théoriques d'évolution sur les différents piézomètres en fonction des périodes de retour. Les valeurs prises sur les courbes théoriques pour la médiane (1 année sur 2), qui correspond au DOE pour le bassin de la Dive, et 40 ans secs (1 année sur 40), qui correspond au DCR pour la Dive, sont données dans le tableau ci-dessous pour les 3 piézomètres.

Les courbes théoriques et leur comparaison avec les chroniques (ill. 30 à 35) montrent que l'année 2005 correspond à une périodicité de retour de l'ordre de 40 à 50 ans. La correspondance avec la courbe théorique des 40 ans secs est en particulier remarquable pour le piézomètre de Puzé2 au Dogger qui a enregistré cette année là des valeurs "naturelles" du fait de l'arrêt des pompages. Par ailleurs, l'existence du seuil bas se marque nettement sur les graphes de Chabournay, le modèle descendant au dessous de 78 m NGF, contrairement à la chronique (à l'exception de l'année 2005, cf. chapitre précédent). Le décrochage par rapport à ce seuil (avec assec de la rivière) a eu lieu en 2005 au mois de mai et a perduré jusqu'à la fin de l'année.

Il ressort de toutes ces données que la gestion à partir de Puzé1 est à privilégier par rapport à une gestion par Puzé2, trop influencé par les pompages, et par Chabournay du fait du seuil bas. Il apparaît aussi nécessaire de maintenir la nappe au-dessus de 84 m NGF sur Puzé2, de manière à ne pas trop déprimer la nappe du Dogger par rapport à celle du Jurassique supérieur, et de ne pas descendre au-dessous de 78 m NGF sur Chabournay, pour ne pas solliciter les débits de la Pallu au droit du piézomètre.

PALLU	une année sur 2			une année sur 40		
	Puzé1	Puzé2	Chabournay	Puzé1	Puzé2	Chabournay
01-mars	95.6	94.7	79.7	91.2	90.2	78
01-avr	95.5	94.8	79.7	91.7	90.2	78.2
01-mai	95	94.1	79.5	91.4	88.7	78.2
01-juin	94	93	79.2	90.8	87.6	78
01-juil	93	92.2	78.8	89.9	87.2	77.7
01-août	91.6	91.8	78.4	88.9	87.1	77.3
01-sept	90.4	91.8	78	88.2	86.8	77.1
01-oct	90	92	77.8	88	87	77

illustration 29 : Valeurs calculées par le modèle pour les 3 piézomètres étudiés pour des évolutions théoriques à période de retour d'une année sur 2 (médiane) et d'une année sur 40 (en référence à la Dive du Nord)

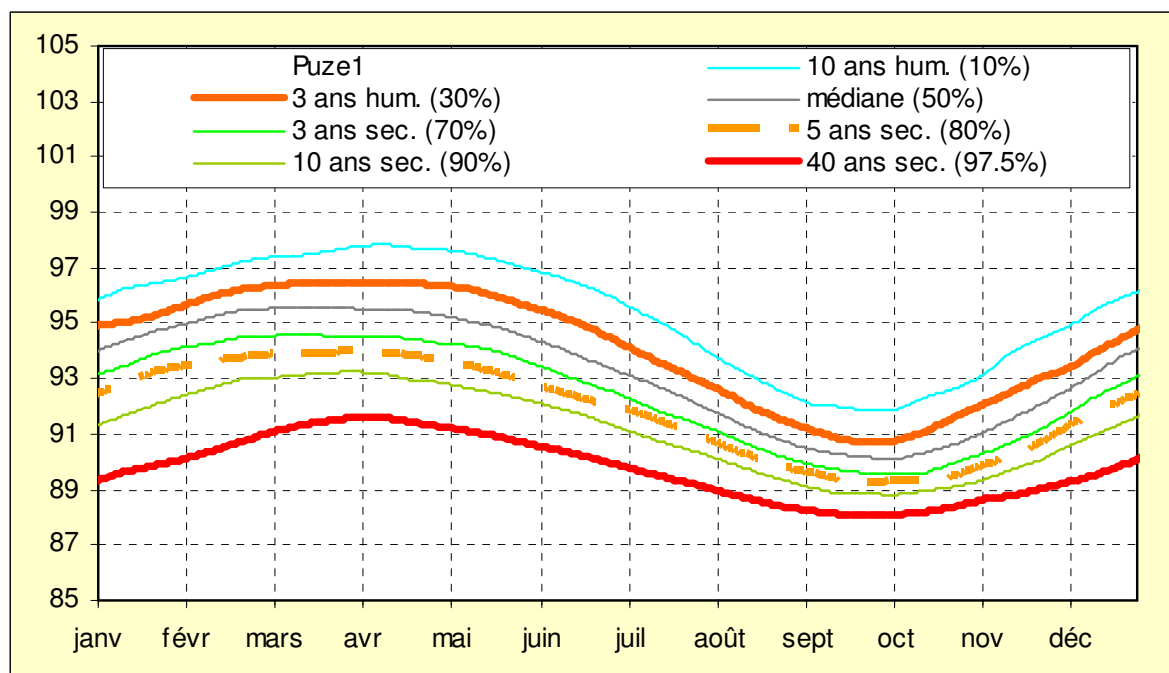


illustration 30 : Valeurs par pas de temps des niveaux (en m NGF) calculées pour différentes périodes de retour (simulations non conditionnelles) pour le piézomètre de Puzé 1

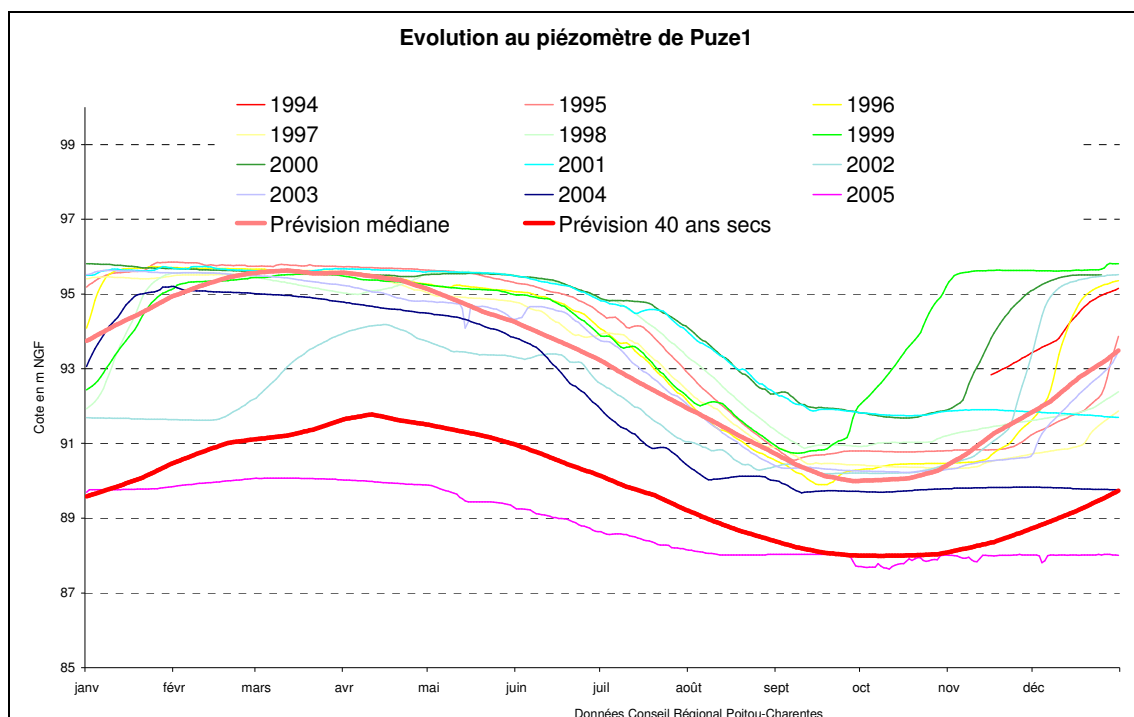


illustration 31 : Comparaison des valeurs mesurées et des courbes théoriques une année sur 2 et 1 année sur 40 pour Puze1

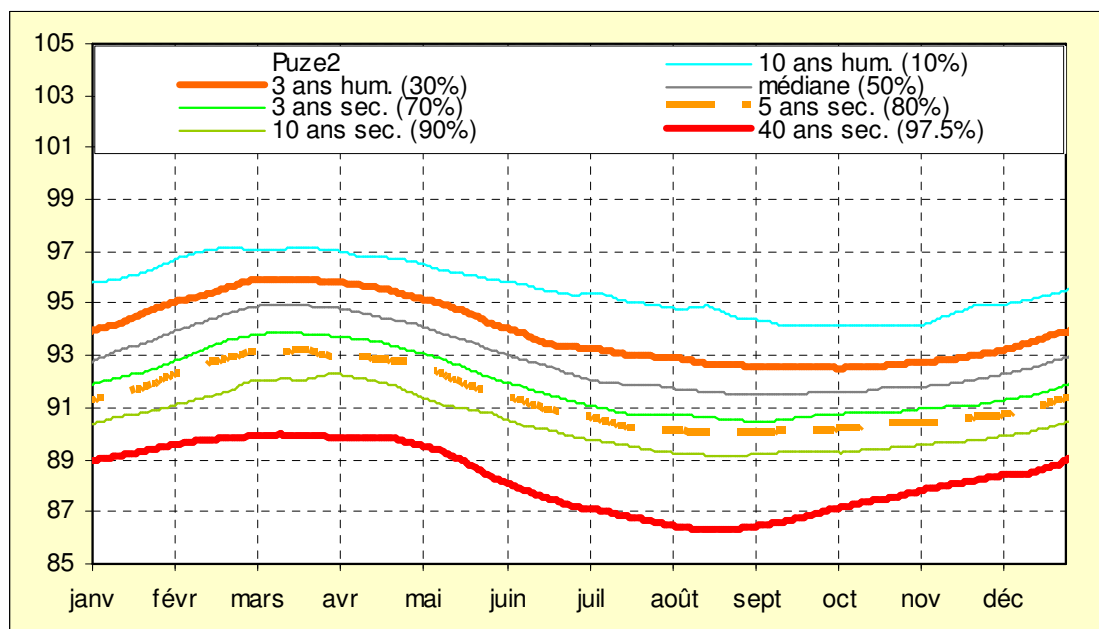


illustration 32 : Valeurs par pas de temps des niveaux (en m NGF) calculées pour différentes périodes de retour (simulations non conditionnelles) pour le piézomètre de Puze 2

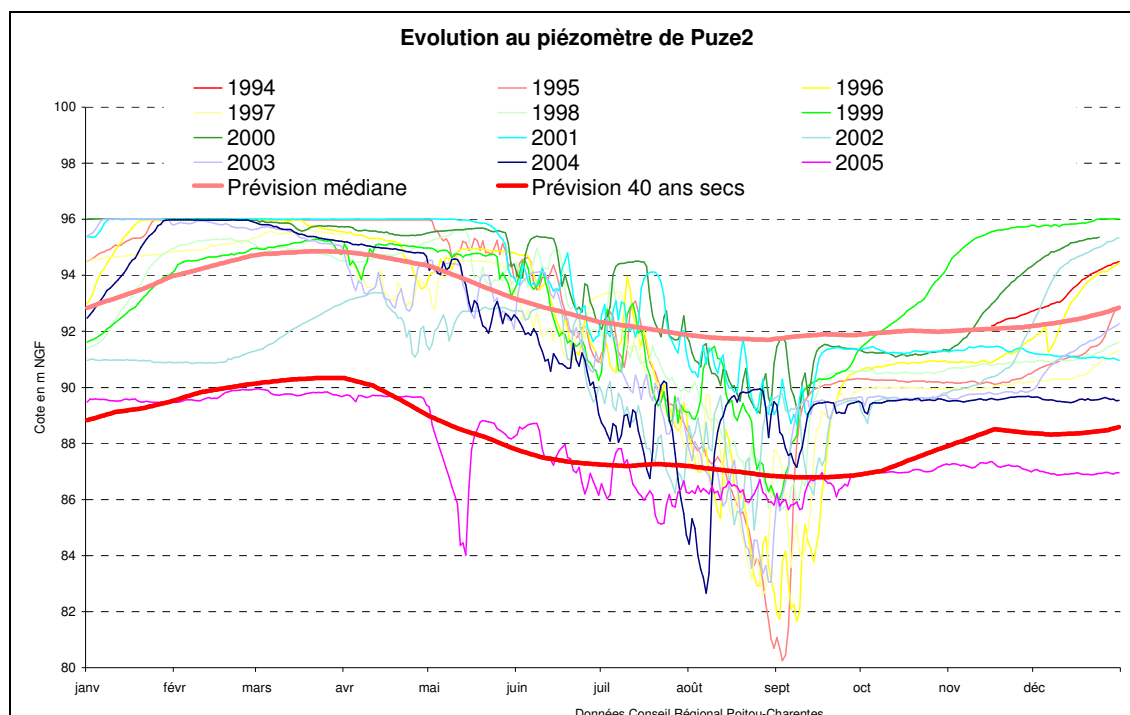


illustration 33 : Comparaison des valeurs mesurées et des courbes théoriques une année sur 2 et 1 année sur 40 pour Puzé2

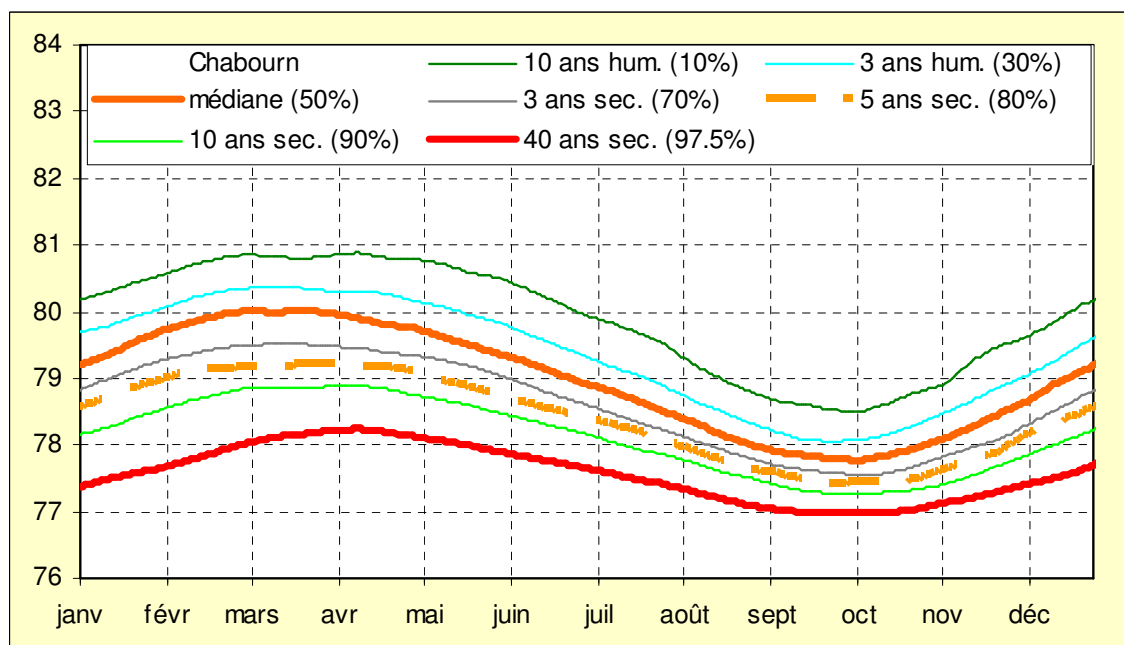


illustration 34 : Valeurs par pas de temps des niveaux (en m NGF) calculées pour différentes périodes de retour (simulations non conditionnelles) pour le piézomètre de Chabournay

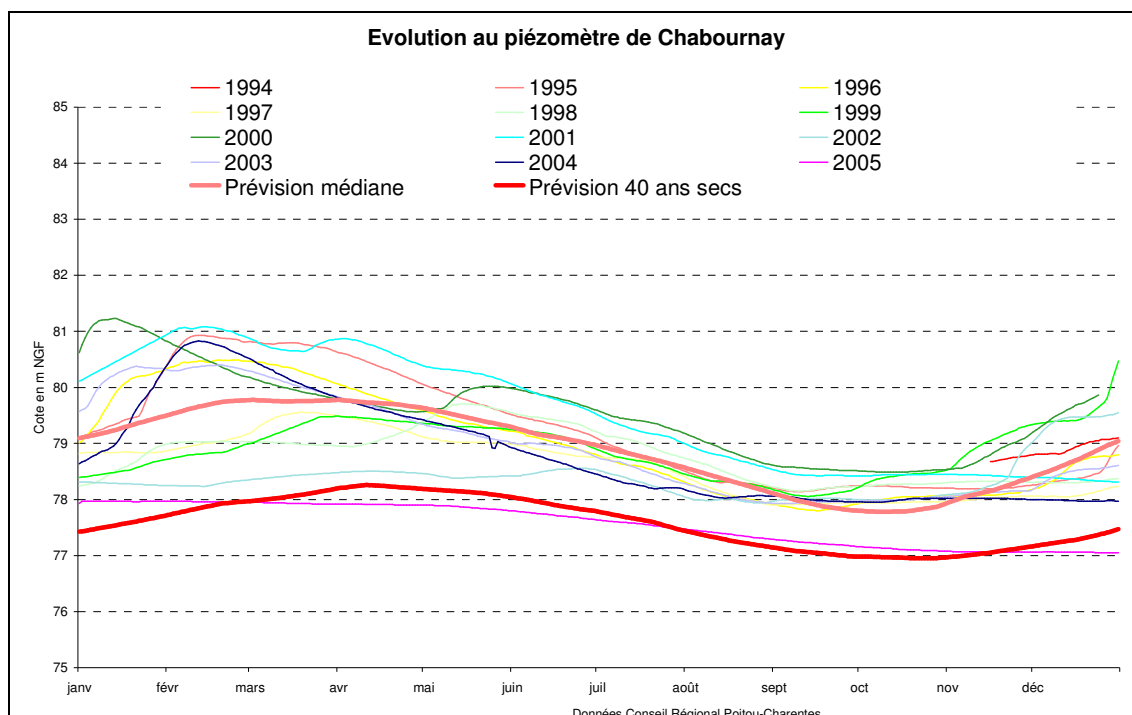


illustration 35 : comparaison des valeurs mesurées et des courbes théoriques une année sur 2 et 1 année sur 40 pour Chabournay

Approche des volumes disponibles

En première approche et en l'absence de critère de débit sur la Pallu, les volumes théoriquement disponibles ont été calculés par analogie avec le bassin voisin de la Dive du Nord qui présente à peu près la même configuration hydrogéologique avec les nappes du Dogger, du Jurassique supérieur et du Crétacé. Les chiffres calculés pour ce bassin versant ont été rapportés à la superficie de celui de la Pallu (235 km²). Le tableau ci-dessous présente ces chiffres ainsi que les niveaux correspondant au printemps sur les courbes théoriques des piézomètres de Puzé1 (Jurassique supérieur) et Puzé2 (Dogger). Ces volumes disponibles sont relatifs aux prélèvements saisonniers ; sont donc exclus les prélèvements AEP.

Les volumes prélevés sont aussi donnés à titre indicatif. Ils sont relativement importants pour ce bassin versant de petite superficie. La carte donne une idée de la densité de ces prélèvements (rapportés à une période de 6 mois : printemps + été).

	PALLU	PUZE1		PUZE2		Volume disponible par rapport DOE (Mm ³)		Volume disponible par rapport DCR (Mm ³)	
		1er Mars	1er Avril	1er Mars	1er Avril	BV DIVE (Retournay)	BV PALLU	BV DIVE (Retournay)	BV PALLU
Résultats de la modélisation des chroniques	40 années humides (2.5 %)	100	99.8	98.7	98.4	10	9	14	13
	10 années humides (10 %)	97.8	97.7	97	96.7	6	6	10	9
	3 années humides (30 %)	96.3	96.3	95.7	95.7	3	3	8	7
	Médiane (50%)	95.6	95.5	94.7	94.8	1	1	5	5
	3 années sèches (70 %)	94.8	94.6	93.7	93.8	0	0	5	5
	10 années sèches (90 %)	93.5	93.3	92.2	92.4	-3	-3	3	3
	40 années sèches (97.5 %)	91.1	91.7	90.2	90.2	-10	-9	1	1
Prélèvements agricoles - PALLU (m ³)	2000								4 422 110
	2001								5 449 347
	2002								4 505 410
	2003								4 299 818
	2004								4 741 153
Prélèvements AEP - PALLU (m ³)	2000								1 700 477
	2001								1 731 171
	2002								1 412 076
	2003								1 898 775
	2004								?
Moyenne des prélèvements (m ³)	Agricole								4 683 568
	AEP								1 685 625
	Agricole + 1/2AEP								5 526 380

*illustration 36 : Volumes disponibles calculés en rapportant les chiffres donnés par les modèles pour la Dive du Nord (bassin versant de la station de Retournay) au bassin versant de la Pallu ;
partie inférieure : historique des prélèvements*

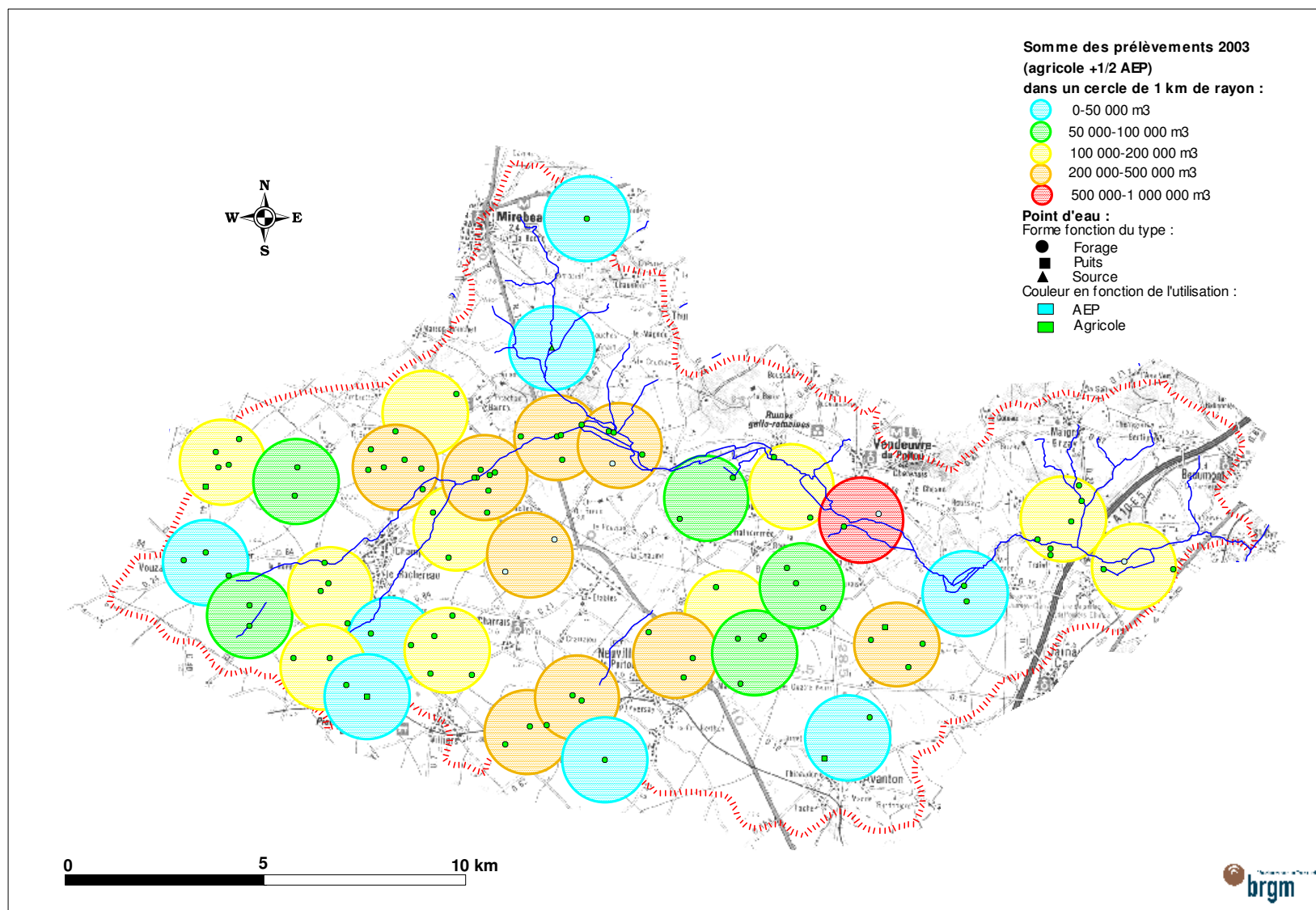


illustration 37 : Carte de la densité des prélèvements agricoles + 1/2 AEP sur le sous bassin de la Pallu

4.2.2 Sous bassin de l'Auxance

Analyse des chroniques piézométriques

Le bassin de l'Auxance comporte un certain nombre de piézomètres à la nappe du Dogger (Ferrière, Ayron, Villiers et Lourdine) et un piézomètre à la nappe de l'Infra-Toarcien (Raudière). Du fait de la nécessité de faire un choix et en accord avec les MISE(s) et la DIREN, les piézomètres d'Ayron et Ferrière, actuellement non utilisés en gestion, n'ont pas été retenus pour l'analyse. Les autres piézomètres ont été analysés avec le logiciel TEMPO.

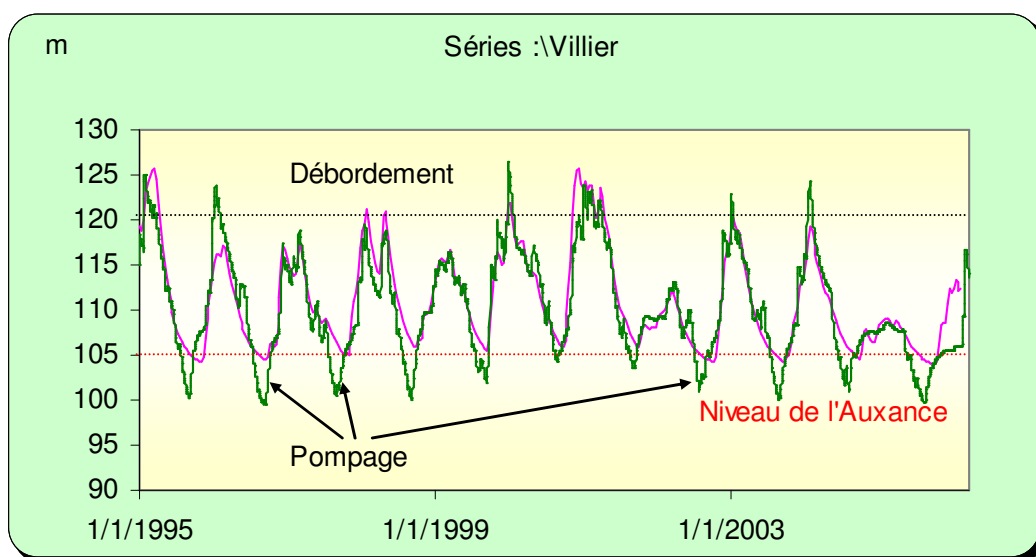


illustration 38 : Modélisation du piézomètre de Villiers (Dogger) : calage du modèle (en rouge) avec la chronique (en vert) entre 1993 et début 2006 [seuil de débordement mais pas de fonction prélèvements introduite]

Les piézomètres du Dogger de Villiers et des Lourdines sont à peu près situés dans le même contexte : situation topographique élevée en rive gauche de l'Auxance et sous recouvrement marno-calcaire du Callovien à l'Oxfordien. Les modèles (Annexe 2) montrent des cotes de débordement situées à peu près à la partie supérieure du réservoir. Mais les rapprochements s'arrêtent là.

Le piézomètre de Villiers apparaît fortement influencé par les prélèvements à la différence des Lourdines. La composante rapide est nettement marquée sur les Lourdines où l'on observe des montées et des descentes de nappe quasi-immédiates. Cette réactivité est particulièrement visible sur les chroniques et assez masquée sur le modèle qui lisse les données sur une décade.

Pour la modélisation de Villiers, il a été tenu compte du seuil de débordement. La modélisation a été réalisée dans un premier temps sans tenir compte de l'impact des

pompages (cf. ill. 38) et dans un second temps en introduisant une fonction prélèvement. Le calage a toutefois été réalisé sans fonction de pompage de manière à reconstituer au mieux une évolution naturelle. Ce calage a aussi nécessité l'introduction d'un seuil bas, autour de 100 m NGF, de manière à éliminer les effets des pompages sans trop contraindre le modèle.

La cote de la rivière Auxance au droit du forage de Villiers est située approximativement entre 105 et 100 m NGF (selon carte 1/25 000 de l'IGN mais il conviendrait de la préciser par nivellement) ; c'est aussi les cotes atteintes en période d'étiage. En période d'étiage, le gradient piézométrique entre la rivière et le forage est donc très faible, voire s'inverse avec alimentation de la nappe par la rivière.

L'existence à la fois d'un seuil de débordement, d'un seuil bas et d'un impact important des pompages alentours a conduit à des difficultés de calage qu'il a fallu reprendre plusieurs fois. Le résultat est toutefois assez satisfaisant (cf. ill. 46) si l'on compare chronique et simulations données par le modèle.

Le modèle donne une composante rapide (écoulement karstique), avec une réaction sur quelques jours, et une composante lente avec un retour à l'état initial de l'ordre de 6 mois après une impulsion pluie. La mise en charge en partie quasi-immédiate après une pluie souligne une certaine captivité de l'aquifère sous les marnes du Callovien et des relations rapides avec la surface par le réseau de fissures.

Le calage du piézomètre de la Raudière à l'Infra-Toarcien est assez moyen. Le modèle met en évidence des débordements en hautes eaux au-delà de la cote 125 m NGF. La cote 115 m NGF, qui correspond au toit de la nappe, est un seuil critique à ne pas dépasser. Le modèle restitue une composante lente avec un maximum autour de 3 mois (après une impulsion pluie) et un retour à l'état initial au bout d'un an.

Au regard de cette analyse des chroniques piézométriques, la nappe de l'Infra-Toarcien présente vis-à-vis des réponses impulsionnelles une inertie un peu plus importante que celle de la nappe du Dogger avec un retour à l'état initial après une impulsion pluie au bout d'un an au lieu d'environ 6 mois pour la nappe du Dogger. La tendance à la baisse de niveau que l'on peut observer sur la chronique n'est pas certaine dans la mesure où l'historique est trop court pour conclure. Toutefois, sur le piézomètre de la Raudière, le seuil critique avant dénoyage de l'aquifère est actuellement presque atteint en période d'étiage.

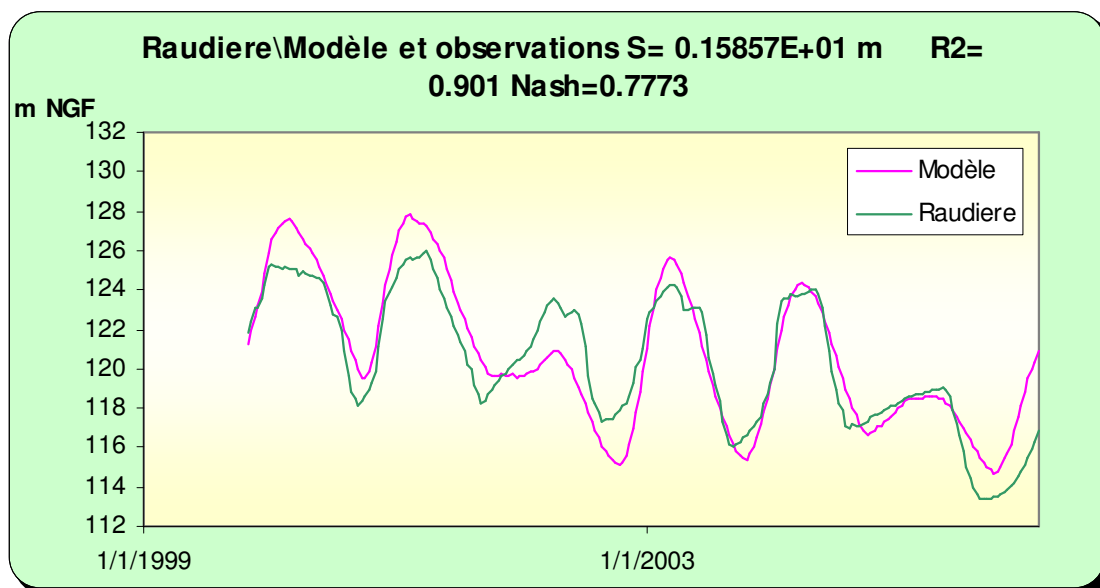


illustration 39 : Modélisation du piézomètre de la Raudière

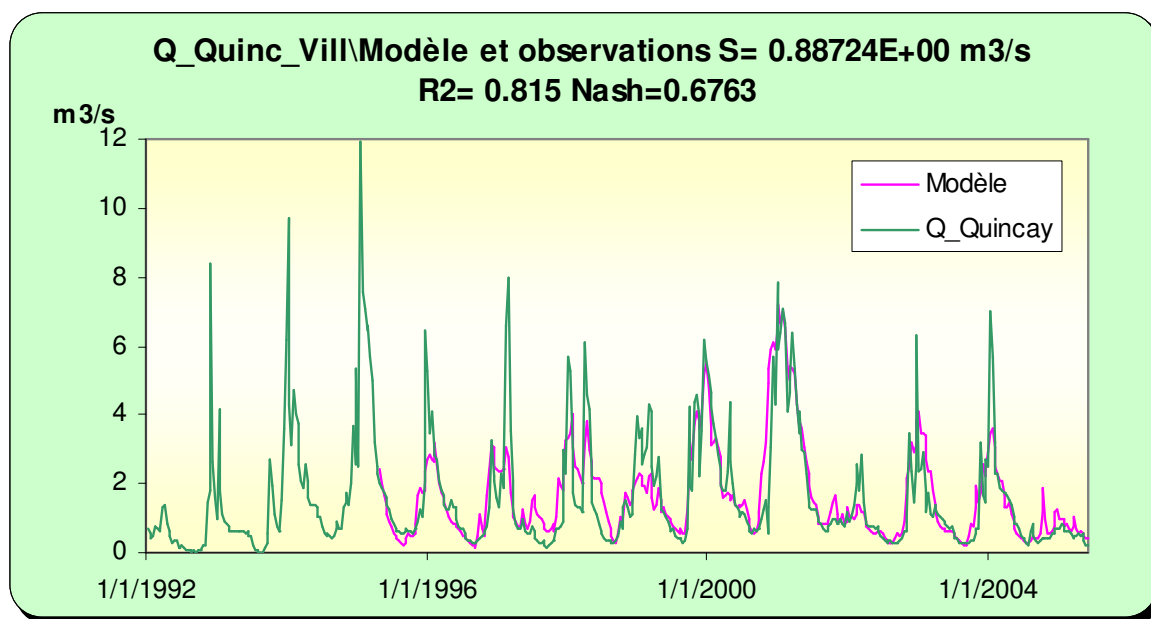


illustration 40 : Modélisation du débit de la rivière en intégrant l'évolution au piézomètre de Villiers

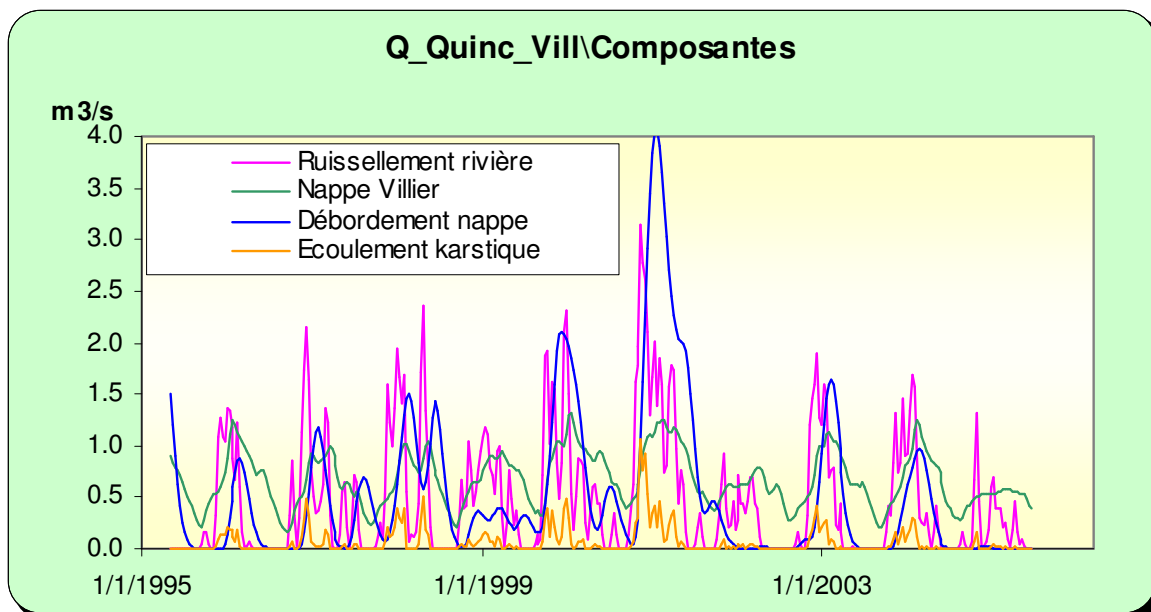


illustration 41 : Reconstitution par le modèle des différentes composantes du débit de la rivière

Recherche d'indicateurs de gestion

Les données de la station de Quincay (jusqu'en juin 2005) ont été utilisées pour modéliser le débit de l'Auxance en croisant avec les différents piézomètres.

Les corrélations des niveaux du piézomètre de Villiers avec les débits à Quincay sont particulièrement bonnes, montrant une contribution importante de la nappe du Dogger au débit d'étiage de la rivière. La contribution à la station de Quincay de la nappe de l'Infra-Toarcien, à travers le piézomètre de La Raudière, apparaît en revanche très faible.

Les crues sont assez mal reproduites par le modèle mais cela peut s'expliquer par les débordements de nappe observés sur les chroniques piézométriques.

Le Débit d'Objectif d'Etiage à la station de Quincay a été fixé à $0.456 \text{ m}^3/\text{s}$ et le Débit de Crise à $0.258 \text{ m}^3/\text{s}$.

Le modèle à la station de Quincay donne, dans des conditions relativement "naturelles" (dans la mesure où les prélèvements AEP non saisonniers ont un impact), une non atteinte du débit d'objectif en septembre un peu plus d'une année sur deux et du débit de crise tous les 10 ans. La courbe 5 ans secs donne une valeur d'étiage de $0.3 \text{ m}^3/\text{s}$ atteinte 1 année sur 5, les autres années le débit de la rivière restant au-dessus.

Les courbes théoriques obtenues pour des périodes de retour variées (illustrations 43 et 44) permettent de dresser le tableau suivant. Ainsi, à un niveau mesuré sur le piézomètre de Villiers (impact limité des pompages) peut être associé une valeur de débit d'étiage à la station de Quinçay.

Les deux courbes théoriques (lissées), correspondant à l'évolution vers le DOE ou vers le DCR pour le piézomètre d'une part, et pour la station hydrologique d'autre part, sont comparées (illustrations 45 et 46) aux historiques disponibles. Pour la rivière, la courbe 2005 mesurée est assez proche de la courbe théorique 40 ans secs.

En résumé, le travail de modélisation conduit à proposer une gestion des prélèvements du bassin de l'Auxance, toutes nappes confondues, à partir des niveaux au piézomètre de Villiers. Sur ce piézomètre, à partir de 105 m NGF (cote approximative de l'Auxance à vérifier toutefois par des nivellements) il y a risque d'inversion des écoulements (de la rivière vers la nappe). Si l'on considère la courbe théorique DOE, un premier seuil d'alerte pourrait être fixé à 105 m NGF et le seuil de coupure à 102,5 m NGF, ce qui conduirait à augmenter de plusieurs mètres les seuils de gestion actuelle.

Le piézomètre des Lourdines apparaît quant à lui trop "réactif" pour être utilisé en gestion.

AUXANCE	Médiane proche du DOE		Période de retour 10 ans proche du DCR	
	Villiers m NGF	Quinçay m ³ /s	Villiers m NGF	Quinçay m ³ /s
01-mars	117	2.4	111.5	1.3
01-avr	114	1.8	109.5	1.1
01-mai	112	1.4	107.5	0.85
01-juin	109	1.05	105	0.62
01-juil	106	0.74	102.5	0.42
01-août	104	0.52	101	0.32
01-sept	102.5	0.47	100.4	0.26
01-oct	104	0.74	102	0.3

illustration 42 : Valeurs de niveaux à Villiers et de débits à Quinçay obtenues sur les courbes théoriques médiane et 10 ans secs

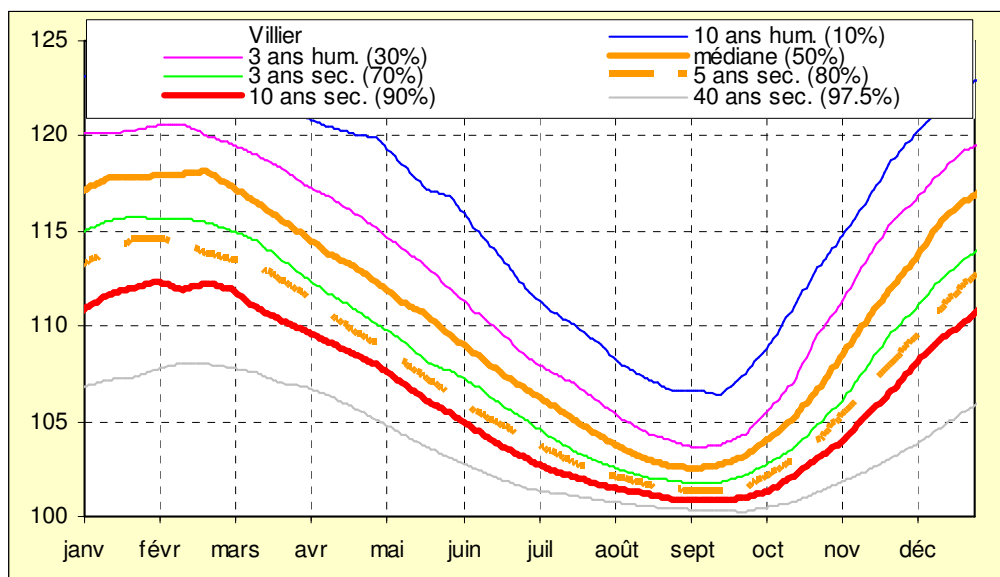


illustration 43 : Valeurs par pas de temps des débits calculés (en m^3/s) pour différentes périodes de retour (simulations non conditionnelles) pour la station de Quincay

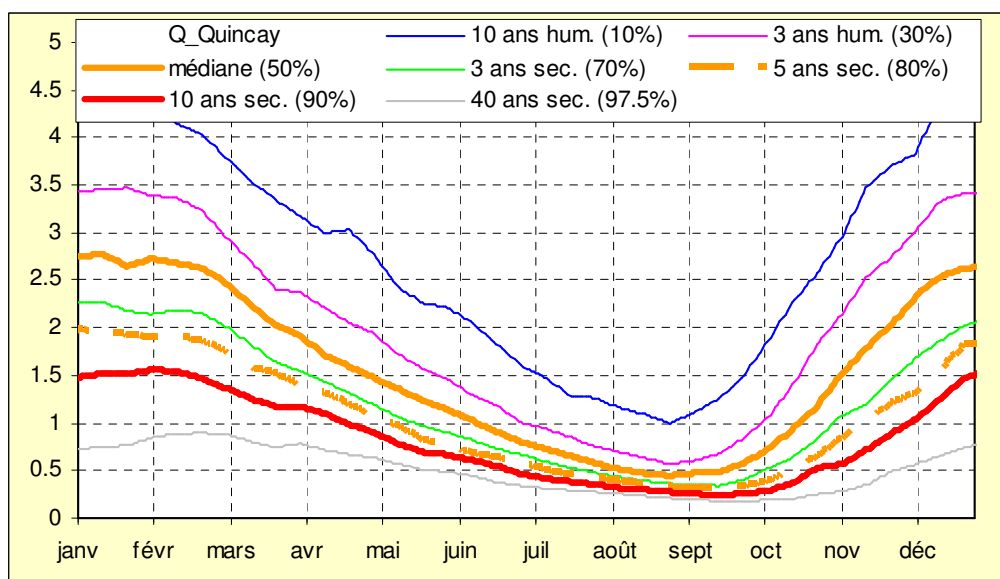


illustration 44 : Valeurs par pas de temps des niveaux calculés (en m NGF) pour différentes périodes de retour (simulations non conditionnelles) pour le piézomètre de Villiers

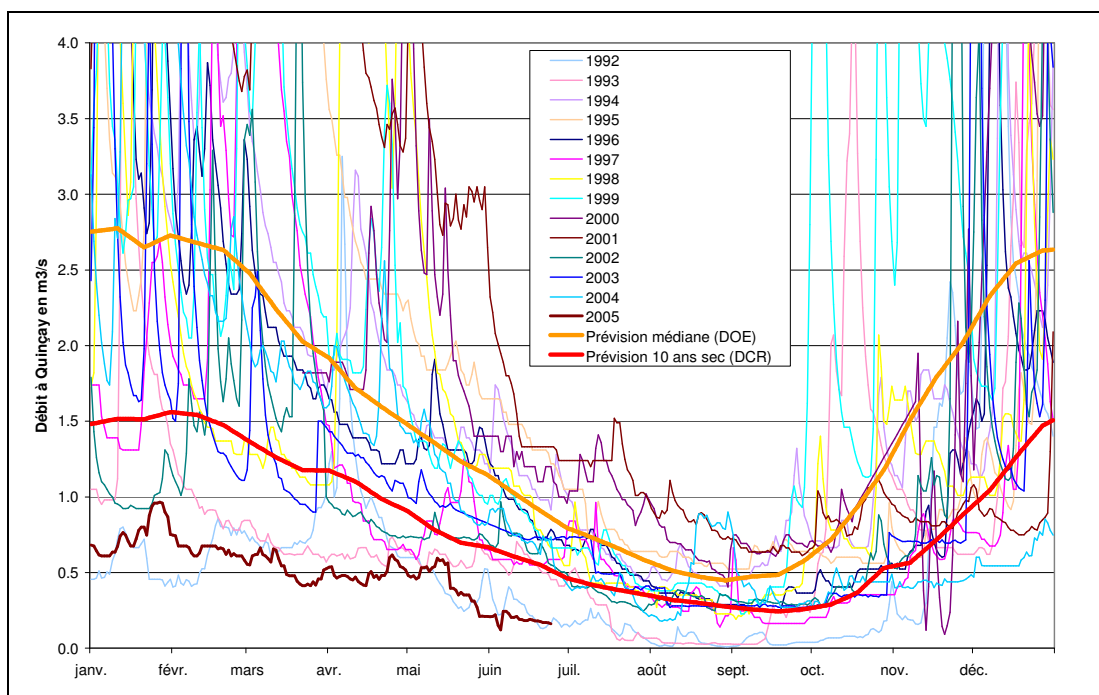


illustration 45 : Comparaison des historiques à la station de Quinçay avec les courbes théoriques obtenues avec le modèle et correspondant aux DOE et DCR

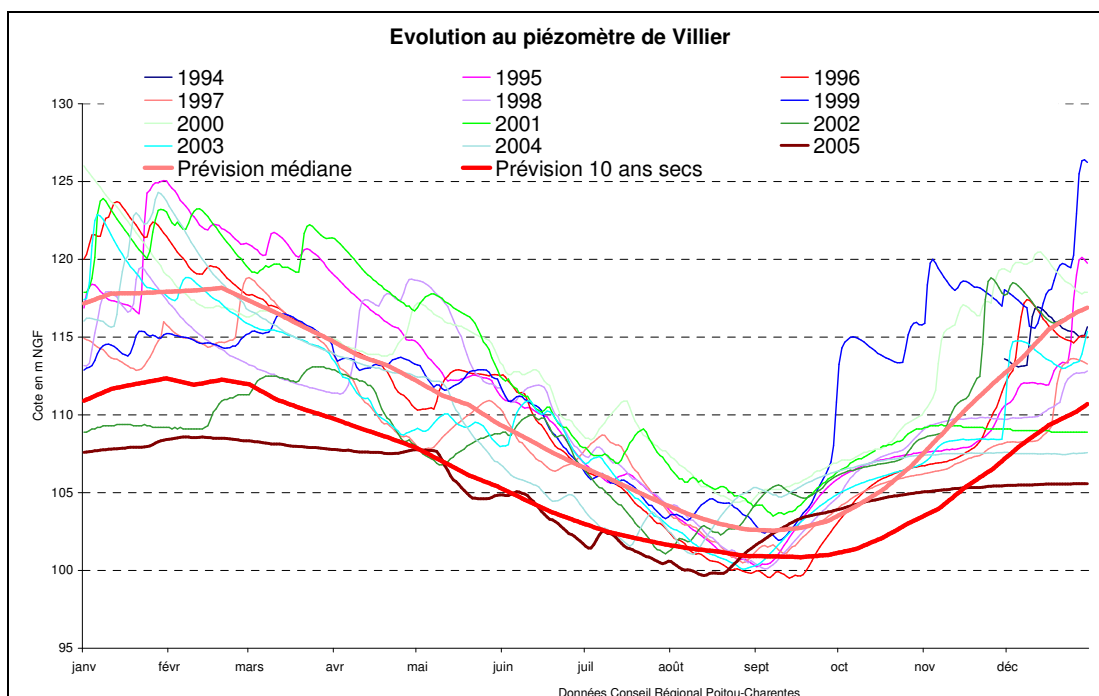


illustration 46 : Comparaison des historiques au piézomètre de Villiers avec les niveaux théoriques obtenus avec le modèle et correspondant aux DOE et DCR à Quinçay

Approche des volumes disponibles

Le modèle permet de calculer des volumes théoriquement disponibles pour les prélèvements saisonniers en comparant les courbes lissées calculées avec celles correspondant au DOE et au DCR. Dans le tableau ci-dessous, à côté des volumes disponibles calculés à partir du modèle et des valeurs relevées sur les courbes théoriques pour les niveaux à Villiers et pour les débits à Quinçay, figurent également les volumes prélevés sur le bassin ces dernières années (données DDAF, AELB, exploitants AEP). Les volumes calculés sont rapportés à l'ensemble du bassin versant de l'Auxance. La cartographie des prélèvements (ill. 48) montre que ceux-ci sont en règle générale concentrés dans la partie aval du bassin versant.

Il découle de l'analyse de ces données que, dans l'état actuel des prélèvements, l'objectif de débit d'étiage (DOE) ne peut pas être atteint 2 années sur 3 et le débit critique (DCR) autour d'une année sur 2, ce qui semble se confirmer au vu des historiques de débits.

	CLAIN/Sous-bassin de l'AUXANCE	Villiers m NGF		Quinçay m3/s		Volume disponible par rapport au DOE (Mm ³)		Volume disponible par rapport au DCR (Mm ³)	
		1er Mars	1er Avril	1er Mars	1er Avril	BV Quinçay	BV Auxance	BV Quinçay	BV Auxance
Résultats de la modélisation des chroniques	10 années humides (10%)	122.7	120.7	3.7	3.1	8.2	9.6	11.0	12.8
	3 années humides (30%)	119.3	117.2	2.8	2.3	2.5	2.9	5.0	5.8
	Médiane (50%)	117.1	114.4	2.4	1.8	1	1.2	3.0	3.5
	3 années sèches (70%)	115	112	2	1.5	-1	-1.2	1.5	1.8
	5 années sèches (80%)	113.4	111.2	1.7	1.4	-0.5	-0.6	0.8	0.9
	10 années sèches (90%)	111.6	109.5	1.31	1.1	-2	-2.3	0.2	0.2
	40 années sèches (97.5%)	107.7	106.6	0.85	0.75			-0.6	-0.7
Prélèvements agricoles - AUXANCE (m ³)	2000								2831986
	2001								3237991
	2002								3080719
	2003								4075902
	2004								4119292
Prélèvements AEP - AUXANCE (m ³)	2000								1928070
	2001								1710716
	2002								1877484
	2003								1871743
	2004								?
Moyenne des prélèvements (m ³)	Agricole								3469178
	AEP								1847003
	Agricole + 1/2AEP								4392680

illustration 47 : Volumes disponibles calculés à partir du modèle de la station de Quinçay, historiques des prélèvements depuis 2000

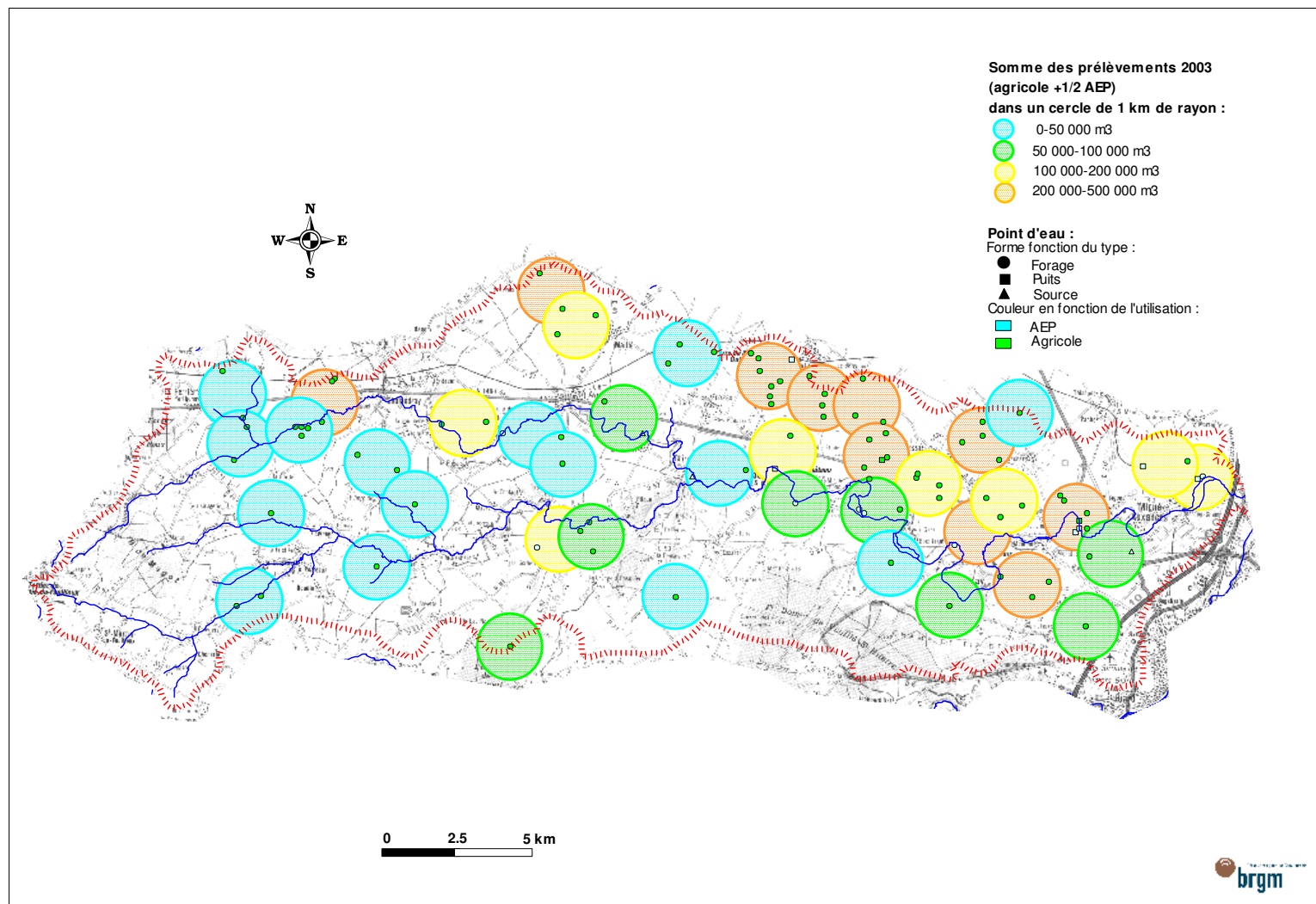


illustration 48 : Densité des prélèvements 'agricoles + AEP/2 du printemps et de l'été sur le bassin versant de l'Auxance

4.2.3 Sous bassin de la Boivre

Analyse des chroniques piézométriques

Il n'y a pas de piézomètre du réseau régional à la nappe du Dogger dans ce bassin versant. En revanche, il existe 2 piézomètres à la nappe de l'Infra-Toarcien. Celui de La Preille, le plus à l'amont, possède des chroniques trop courtes pour être modélisé.

Celui de l'Abbaye présente des battements annuels faibles. Il semble aussi assez peu impacté par les prélèvements. Le niveau de la nappe en basses eaux reste au-dessus du niveau de la rivière (103 m pour environ une cote rivière de 100 m NGF). La nappe est là nettement captive et son toit (base des marnes du Toarcien) demeure environ 20 m sous le niveau piézométrique de basses eaux.

Le modèle présente un calage très moyen, d'autant plus que l'historique fait apparaître des anomalies vraisemblablement attribuables à des problèmes matériels sur la mesure. Il met toutefois en évidence des cycles pluriannuels. Pour le calage, un seuil de débordement autour de 104 m NGF a du être introduit ainsi qu'une légère tendance à la baisse de niveau (moins de 50 cm sur 10 ans). La nappe apparaît à la fois captive et avec une certaine inertie (transferts lents très prépondérants), mais aussi en relation avec la surface (ré-alimentation et vidange annuelles).

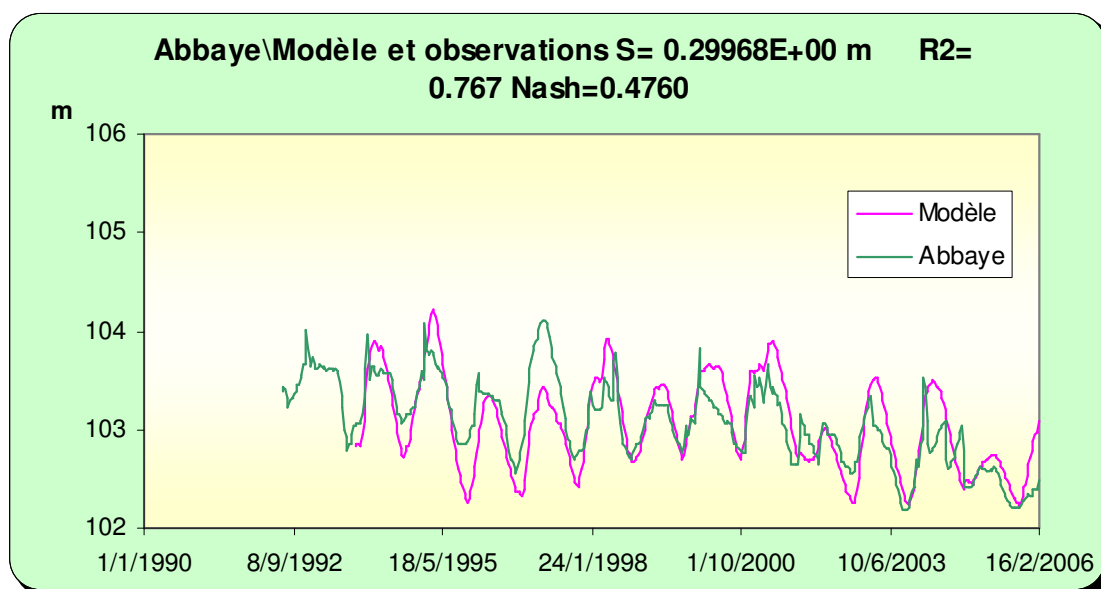


illustration 49 : Modélisation de la chronique du piézomètre l'Abbaye

Recherche d'indicateurs de gestion

Le modèle du piézomètre de l'Abbaye a été mis en corrélation avec le débit mesuré de la rivière à la station de la Ribalière (Vouneuil). Le modèle obtenu pour la rivière se cale relativement bien sur la chronique, sauf en hautes eaux (dû vraisemblablement à des débordements de nappe) et en basses eaux pour certaines années (dû vraisemblablement aux prélèvements).

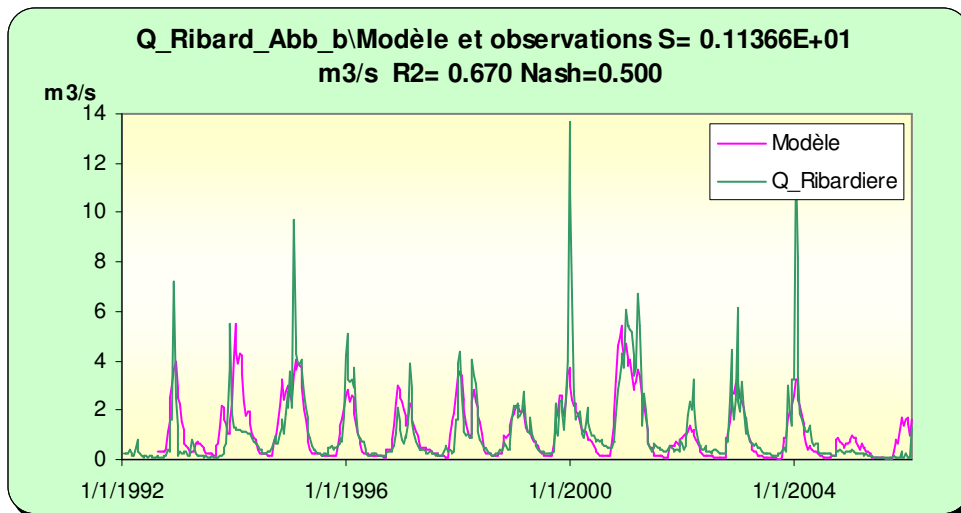


illustration 50 : Modélisation du débit de la rivière Boivre à la Ribalière

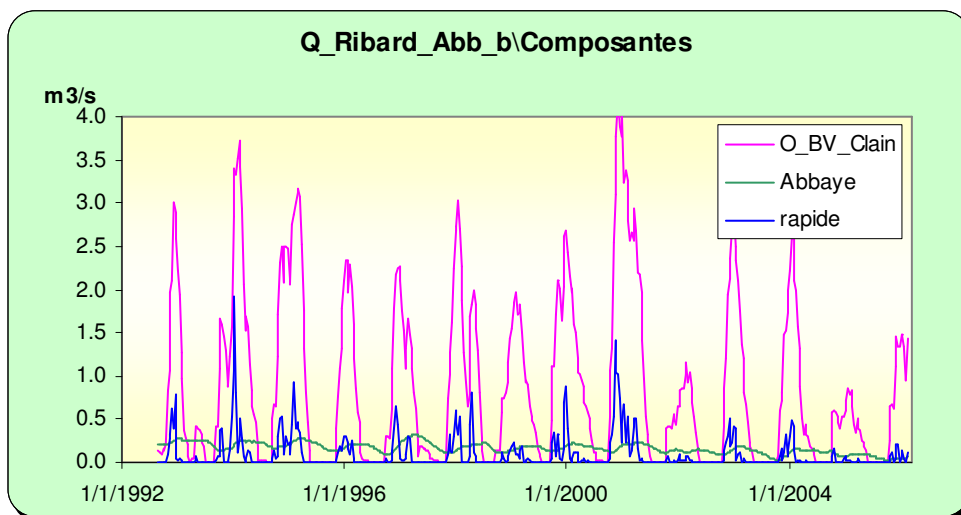


illustration 51 : Composantes du débit de la rivière à la Ribalière

En hautes eaux, le débit à la Ribalière serait composé principalement par des ruissellements superficiels dans le bassin versant et, plus modestement, par des apports rapides de type karstique. En basses eaux, les apports des nappes deviennent prépondérants.

Le modèle permet de reconstituer des évolutions théoriques variables en fonction des périodes de retour* et en tenant compte implicitement des pompages non saisonniers sur le bassin versant de la station (ill. 53 et 54). Le DOE (0.198 m³/s) ne serait pas respecté deux années sur 3 et le DCR (0.112 m³/s) une année sur deux. La courbe 5 ans secs donne un débit d'étiage autour de 0.08 m³/s.

Les courbes correspondantes obtenues avec le modèle sur le piézomètre permettent d'établir le tableau de correspondance ci-dessous.

BOIVRE	Période de retour 3 ans humides (DOE)		Période de retour médiane proche du DCR	
	Abbaye en m NGF	Ribalière en m ³ /s	Abbaye en m NGF	Ribalière en m ³ /s
01-mars	103.55	1.7	103.4	1.37
01-avr	103.6	1.3	103.5	0.9
01-mai	103.57	0.9	103.4	0.6
01-juin	103.5	0.56	103.3	0.35
01-juil	103.2	0.3	103.05	0.2
01-août	103	0.19	102.7	0.14
01-sept	102.7	0.18	102.54	0.12
01-oct	102.6	0.6	102.5	0.3

illustration 52 : Niveaux et débits donnés par le modèle pour des périodes de retour correspondant au DOE et plus approximativement au DCR

La comparaison des courbes théoriques avec les chroniques de mesures (ill. 55 et 56) souligne bien cette difficulté de non atteinte des débits d'objectif et de crise sur la Boivre. Sur le piézomètre de l'Abbaye l'évolution des niveaux enregistrée sur 2005 se reproduirait à peu près une année sur 40.

* Dans cette phase de prévisions, la tendance à la baisse introduite dans la phase de calage n'a pas été conservée. Des essais ont cependant été réalisés et montrent qu'en introduisant une tendance les courbes prévisionnelles se trouvent en moyenne abaissées de l'ordre d'un mètre.

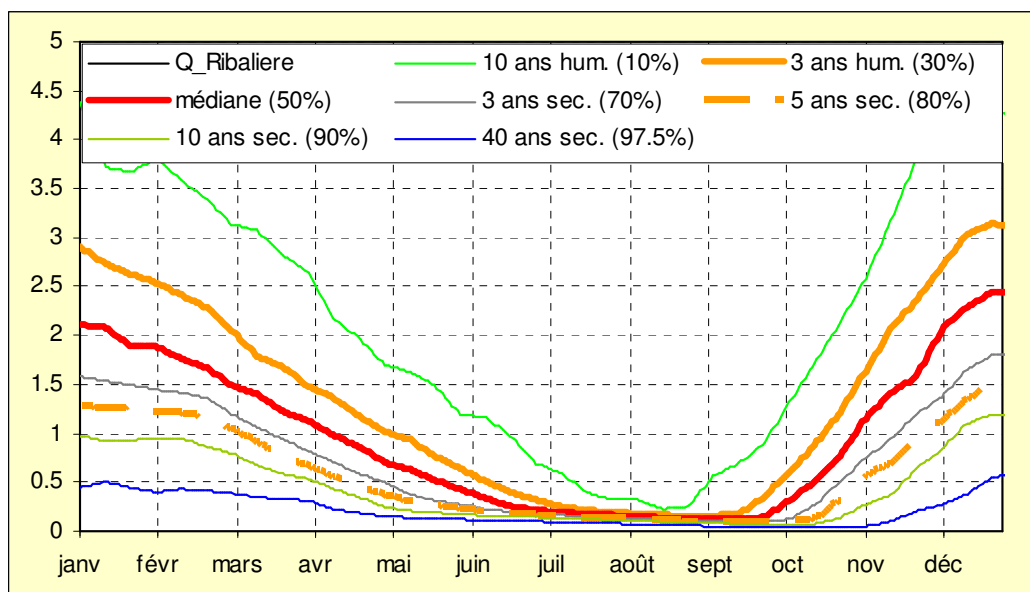


illustration 53 : Valeurs par pas de temps des débits calculés(en m^3/s) pour différentes périodes de retour (simulations non conditionnelles) pour la station de la Ribalière

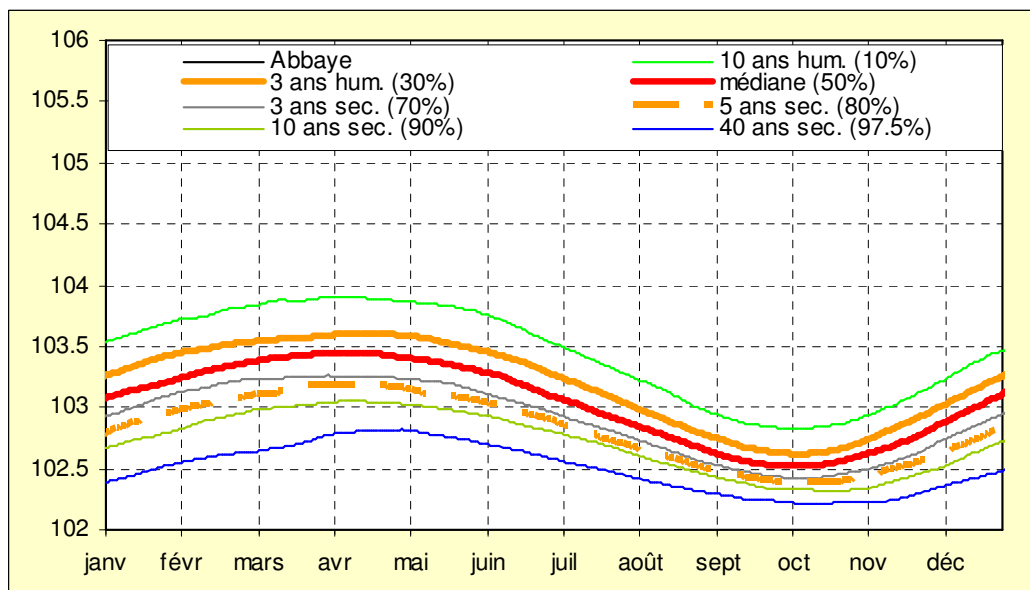


illustration 54 : Valeurs par pas de temps des niveaux calculés (en m NGF) pour différentes périodes de retour (simulations non conditionnelles) pour le piézomètre de l'Abbaye

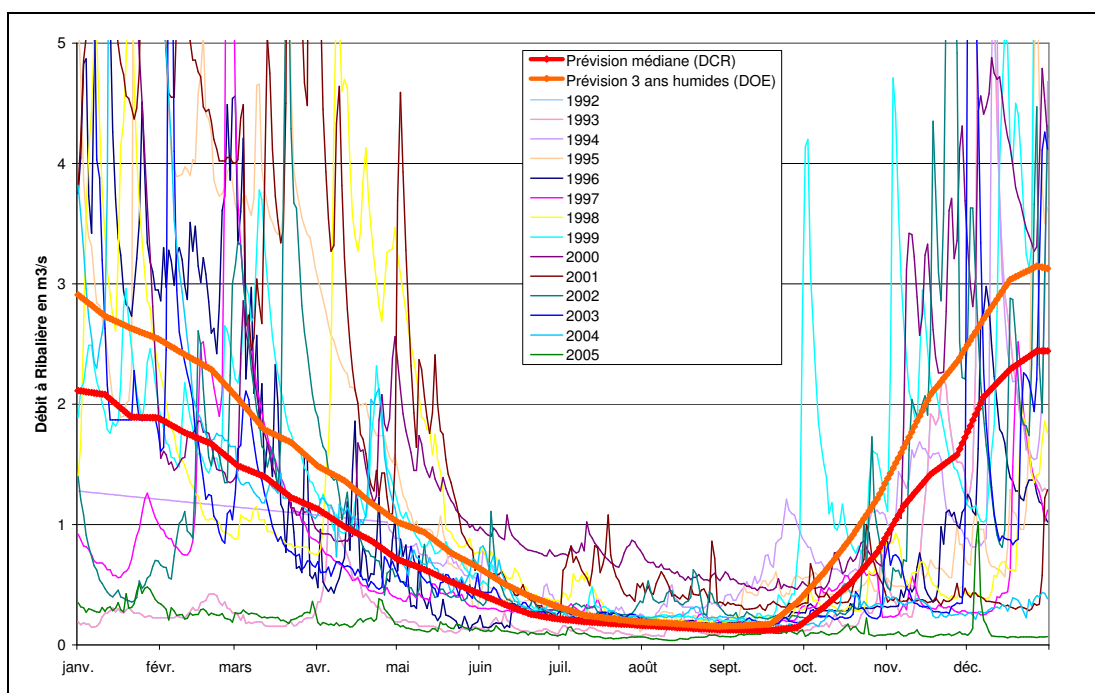


illustration 55 : Comparaison des courbes théoriques d'évolution vers le DOE et le DCR avec la chronique de débit de la Ribalière

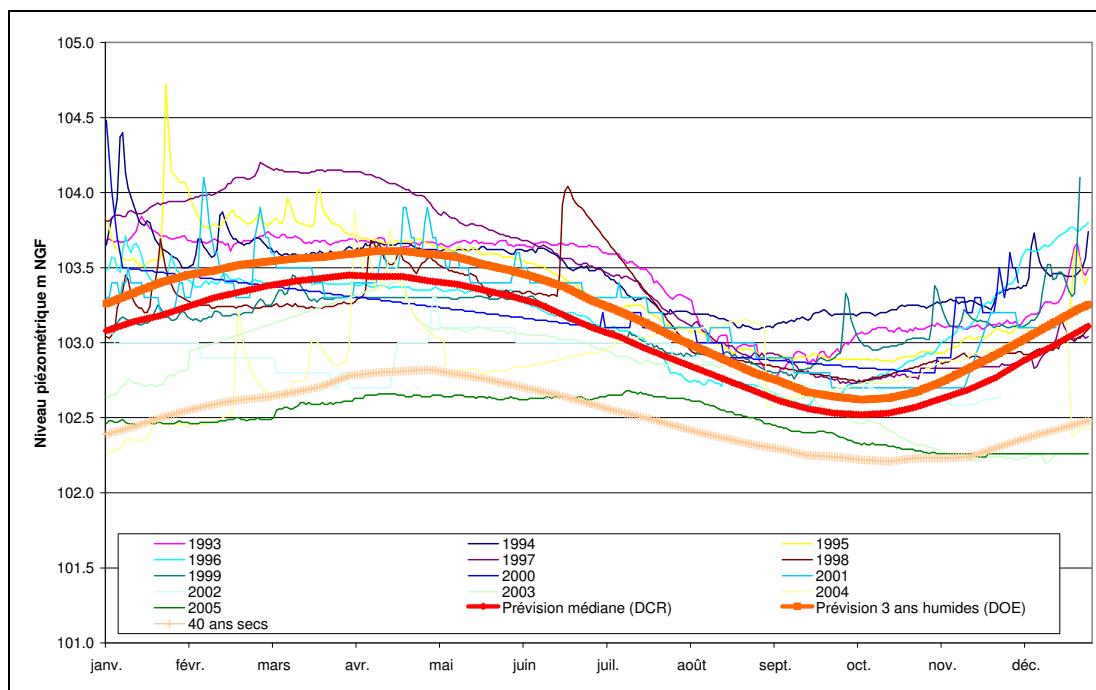


illustration 56 : Comparaison des courbes théoriques des niveaux sur le piézomètre de l'Abbaye avec la chronique de mesures

Approche des volumes disponibles

Le modèle permet d'estimer les volumes disponibles sur le bassin versant de la Boivre en fonction de l'état de la ressource au printemps (ill. 57). Les prélèvements non saisonniers (AEP) sont déjà implicitement intégrés dans la chronique. Ceux-ci sont importants (ill. 58) et doivent donc impacter significativement le débit de la Boivre mesuré à la station de la Ribalière ainsi que son modèle.

Les volumes disponibles donnés dans le tableau sont donc à comparer avec les prélèvements agricoles qui sont de l'ordre de 1.5 Mm³ par an.

Dans l'état actuel des prélèvements, les objectifs de débit (DOE) ne sont que rarement respectés : une année sur 3. Le débit de crise est respecté 1 année sur 2 environ.

	CLAIN/Sous bassin BOIVRE	ABBAYE m NGF		RIBALIERE (m3/s)		Volume disponible par rapport DOE (Mm ³)		Volume disponible par rapport DCR (Mm ³)	
		1er Mars	1er Avril	1er Mars	1er Avril	BV Ribardière	BV BOIVRE	BV Ribardière	BV BOIVRE
Résultats de la modélisation des chroniques	10 années humides (10%)	104	104	2.8	2.3	4.3	4.6	5.4	5.7
	3 années humides (30%)	103.5	103.5	1.7	1.2	2.2	2.3	3.5	3.7
	Médiane (50%)	103.2	103.2	1.3	0.9	0.0	0.0	1.5	1.6
	3 années sèches (70%)	103	103	1	0.6	-2.0	-2.1	0.5	0.5
	5 années sèches (80 %)					-3.4	-3.6	-0.6	-0.6
	10 années sèches (90%)	102.7	102.7	0.66	0.36	-5.0	-5.3	-2.0	-2.1
	40 années sèches (97.5%)	102.5	102.5	0.36	0.14	-7.0	-7.4	-4.0	-4.3

Prélèvements agricoles - BOIVRE (m ³)	2000								1158450
	2001								1418394
	2002								1142163
	2003								1527741
	2004								1500833
Prélèvements AEP - BOIVRE (m ³)	2000								5659533
	2001								5198844
	2002								5035477
	2003								3820883
	2004								?
Moyenne des prélèvements (m ³)	Agricole								1349516
	AEP								4928684
	Agricole + 1/2AEP								3813858

illustration 57 : Volumes disponibles calculés à partir du modèle de la station de la Ribalière, historiques des prélèvements depuis 2000 sur le bassin de la Boivre

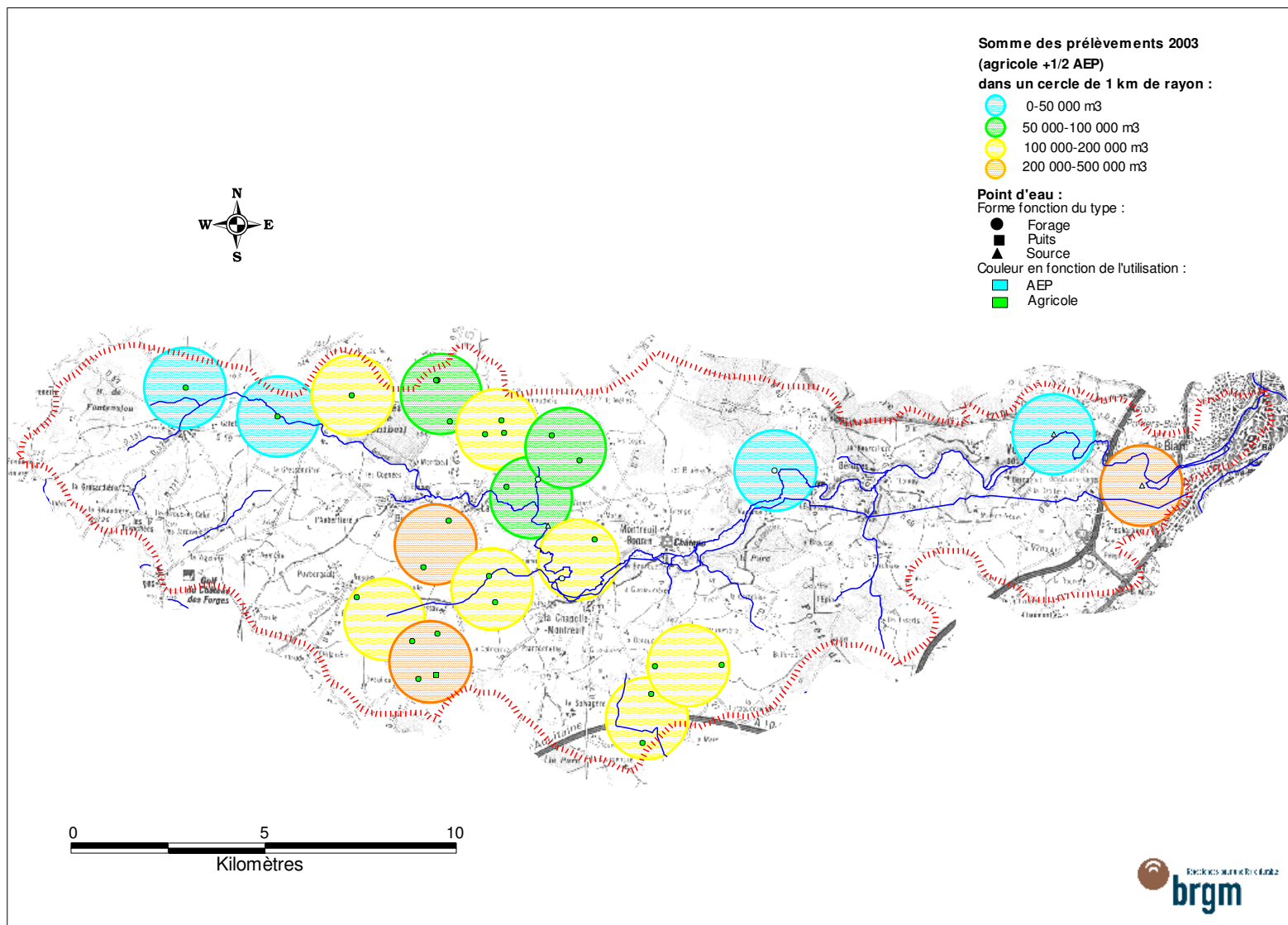


illustration 58 : Répartition des prélèvements printaniers et estivaux sur le bassin versant de la Boivre

4.2.4 Sous bassin de la Vonne

Analyse des chroniques piézométriques

Le tiers amont du bassin de la Vonne correspond à du socle où le ruissellement superficiel est prépondérant. A la sortie du socle jusqu'à la confluence avec le Clain, la rivière s'écoule principalement sur les marnes du Toarcien et de l'Aalénien.

La Vonne est amputée d'une grande partie de son bassin versant topographique au Sud-Ouest, autour de Rouillé. Les piézométries du Dogger et de l'Infra-Toarcien montrent en effet des écoulements souterrains vers le bassin versant du Pamproux, affluent de la Sèvre Niortaise. Topographiquement cette zone autour de Rouillé est séparée du bassin de la Vonne par de faibles reliefs coiffés de terrains tertiaires.

Ce bassin versant est suivi par le piézomètre de Cagnoche pour la nappe du Dogger et par les piézomètres de Choué et de Marigny pour la nappe de l'Infra-Toarcien. Ce dernier est toutefois abandonné depuis 2001.

Le piézomètre de Choué a été étudié mais n'a pas été retenu compte tenu de la mauvaise qualité de la chronique : partie manquante, décrochage vertical du capteur... L'analyse réalisée ferait apparaître toutefois une inertie importante du système aquifère (Infra-Toarcien) dans ce secteur, avec des retours à l'état initial après une impulsion au bout de 3 ans environ.

Le piézomètre de Cagnoche a été analysé. Il est situé dans le Dogger, en zone de crête entre les bassins de la Boivre, de la Vonne et du Palais. Le Dogger est recouvert là d'importants niveaux d'altérites argilo-sableuses qui expliquent une certaine inertie du système aquifère.

La modélisation montre en effet uniquement des écoulements lents, avec un retour à l'état initial après une impulsion pluie, au bout de plus d'une année. La mise en charge est rapide, caractérisant plutôt un aquifère légèrement captif. La couverture sablo-argileuse introduit un effet retard dans l'alimentation de l'aquifère du Dogger. En 2005 la chronique n'enregistre pas de recharge (la chronique montre une courbe de vidange presque parfaite sur 2 ans) alors que le modèle réagit lui modérément à des pluies.

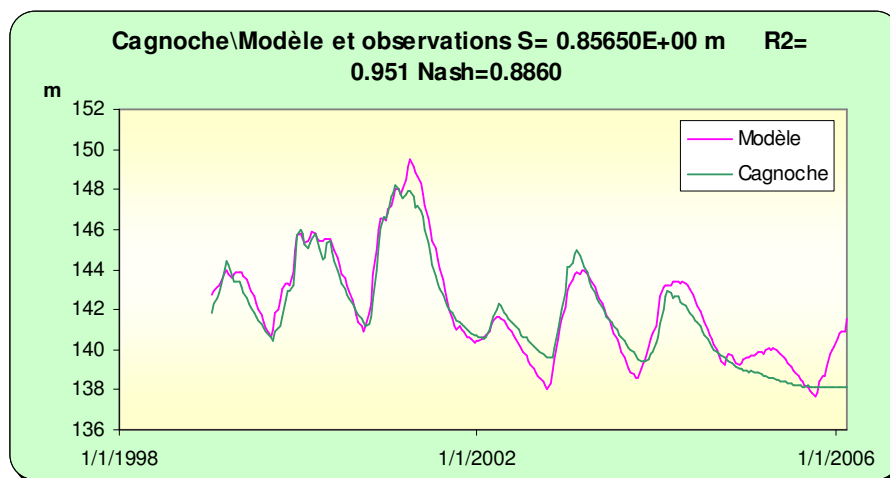


illustration 59 : Modélisation de la chronique de Cagnoche

Recherche d'indicateurs de gestion

Le modèle de Cagnoche a servi d'entrée pour modéliser les débits à la station de Cloué sur la Vonne. Malgré une chronique piézométrique assez courte (6 ans), le calage du modèle est relativement correct. L'analyse des composantes donne des transferts rapides (ruissellements superficiels dans le bassin versant + transferts karstiques) nettement prépondérants sauf en période d'étiage où la nappe du Dogger vient soutenir les basses eaux de la rivière (ill. 62).

Le même travail a été fait avec la station de la Ribalière sur la Boivre compte tenu de la situation du piézomètre de Cagnoche. Les résultats sont similaires, avec des transferts rapides prépondérants à l'image du calage réalisé à la Ribalière avec le piézomètre de l'Abbaye.

Sur la Vonne à Cloué, le DOE a été fixé à $0.3 \text{ m}^3/\text{s}$ et le DCR à $0.17 \text{ m}^3/\text{s}$. Les simulations à partir du modèle de la station de Cloué, avec en entrée le piézomètre de Cagnoche, montrent que le DOE, dans des conditions "naturelles" (les prélèvements AEP sont pris en compte), ne serait pas respecté une année sur 10 et le DCR plus d'une année sur 40. La courbe 5 ans secs donne un débit d'étiage de $0.4 \text{ m}^3/\text{s}$ théoriquement atteint qu'une année sur 5.

Les courbes théoriques obtenues pour ces périodes de retour permettent de construire le tableau de correspondance ci-dessous entre niveau piézométrique à Cagnoche et débit à Cloué. A partir de ce tableau, des seuils et des modalités de gestion peuvent être fixés pour gérer les prélèvements sur le bassin hydrogéologique de la Vonne, toutes nappes confondues.

La comparaison des courbes théoriques avec les chroniques de mesures montre que les prélèvements ont un impact significatif sur le débit à Cloué, expliquant que DOE et

même DCR ne sont que très rarement respectés contrairement aux résultats du modèle. En revanche, les niveaux correspondants sur le piézomètre de Cagnoche sont très rarement atteints. La courbe DCR est assez cohérente avec la piézométrie mesurée en 2005 qui correspond à peu près à une période de retour de l'ordre de 50 ans.

VONNE	Période de retour 10 ans secs (DOE)		Période de retour 40 ans secs proche du DCR	
	Cagnoche en m NGF	Cloué en m ³ /s	Cagnoche en m NGF	Cloué en m ³ /s
01-mars	141.1	1.08	139.1	0.65
01-avr	141.4	0.8	139.2	0.64
01-mai	141.5	0.78	139.6	0.61
01-juin	141	0.64	139.3	0.45
01-juil	140.2	0.5	138.7	0.37
01-août	139.5	0.41	138.1	0.26
01-sept	138.8	0.37	137.6	0.22
01-oct	138	0.53	137	0.28

illustration 60 : Niveaux et débits donnés par le modèle pour des périodes de retour correspondant au DOE et au DCR

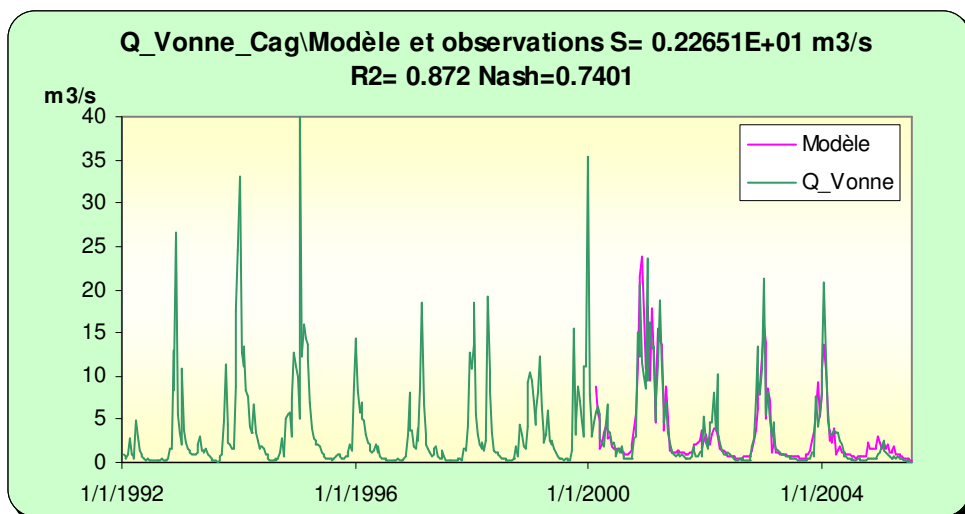


illustration 61 : Modélisation de la chronique de débit de Cloué sur la Vonne avec en entrée la station de Cagnoche.

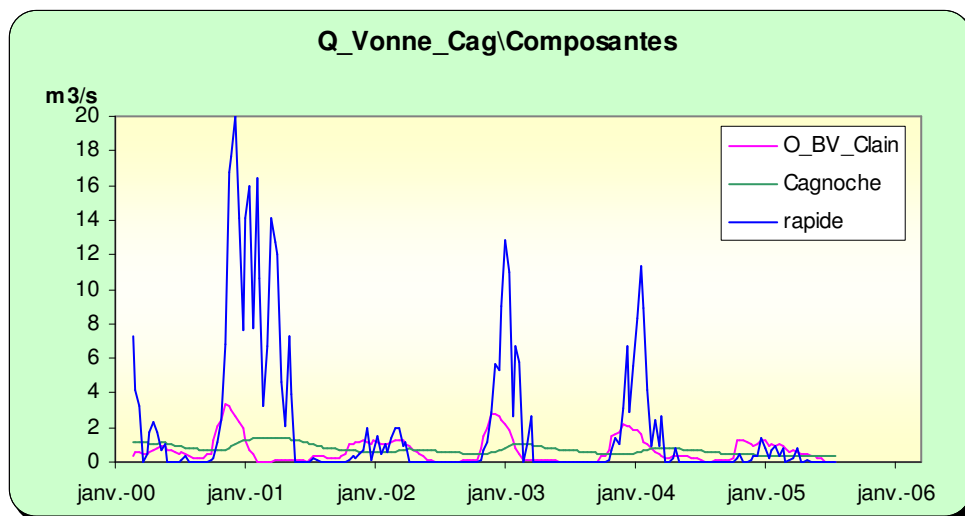


illustration 62 : Composantes du débit sur la Vonne à partir du modèle réalisé avec Cagnoche en entrée.

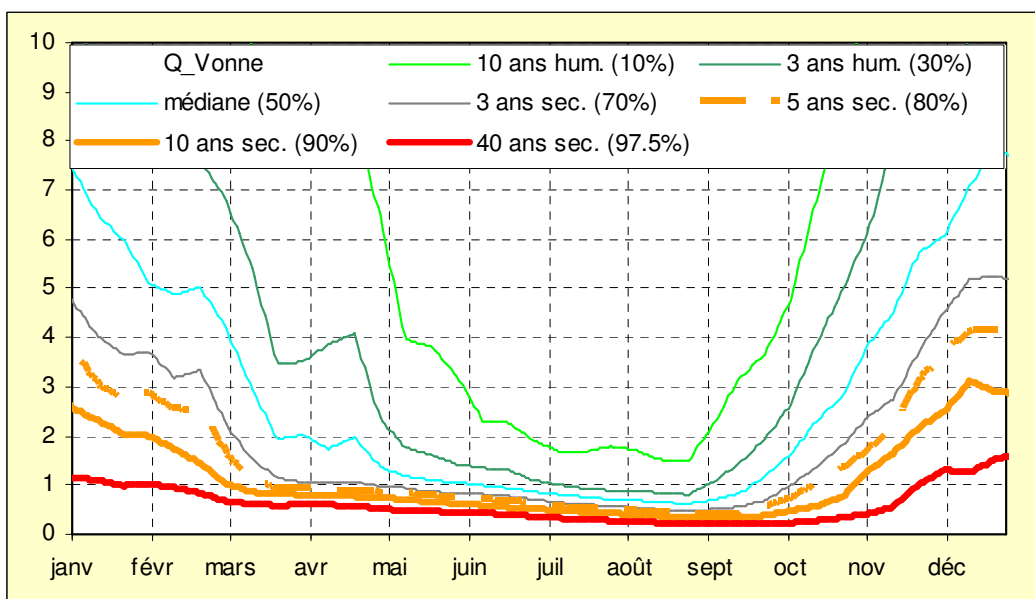


illustration 63 : Valeurs par pas de temps des débits (en m^3/s) calculés pour différentes périodes de retour (simulations non conditionnelles) pour la station de Cloué.

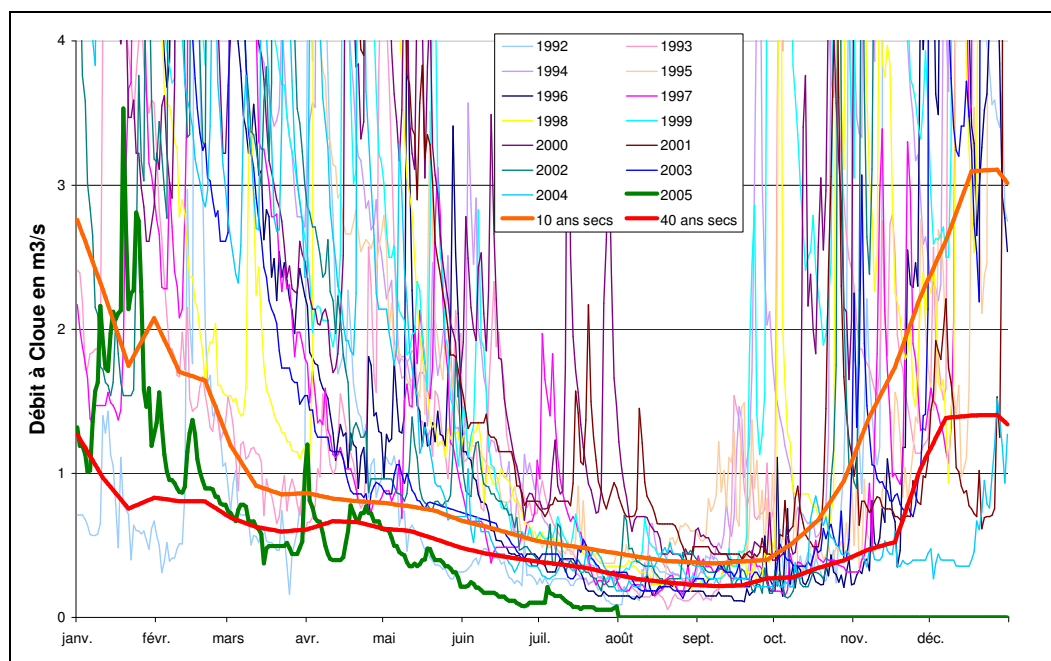


illustration 64 : Superposition des courbes théoriques correspondant au DOE (10 ans secs) et DCR (40 ans secs) avec la chronique de Cloué

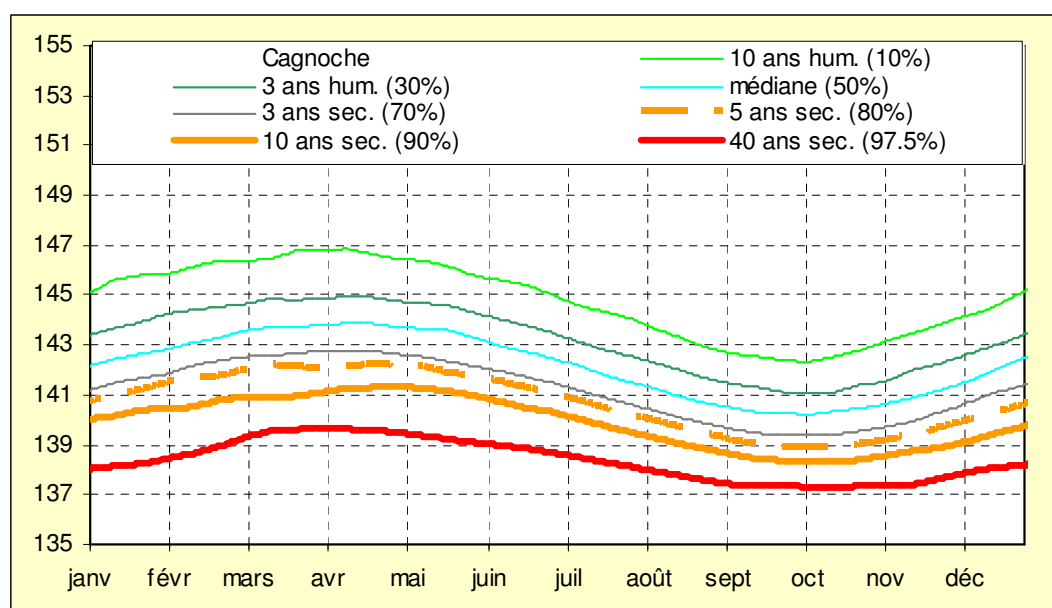


illustration 65 : Valeurs par pas de temps des niveaux (en m NGF) calculées pour différentes périodes de retour (simulations non conditionnelles) pour le piézomètre de Cagnoche.

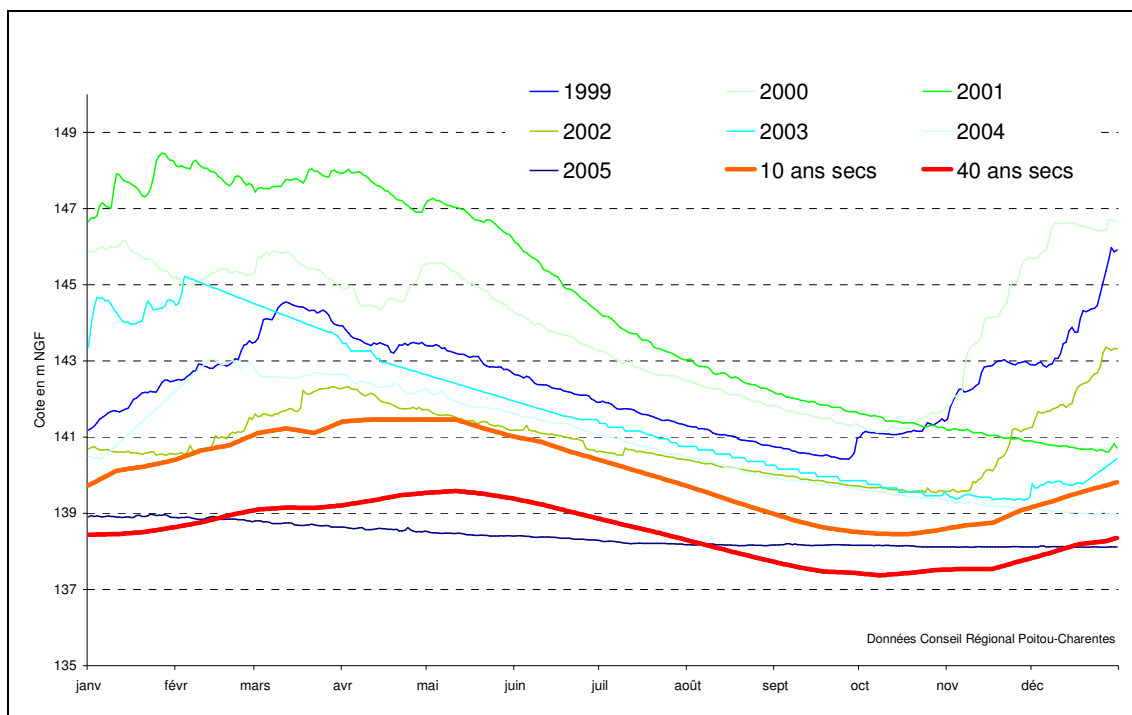


illustration 66 : Superposition des courbes théoriques correspondant au DOE (10 ans secs) et DCR (40 ans secs) sur Cloué avec la chronique piézométrique de Cagnoche

Approche des volumes disponibles

Pour chaque période de retour le modèle calcule les volumes disponibles par rapport au DOE et au DCR. Les prélèvements non saisonniers (AEP), implicitement pris en compte dans la modélisation et dont l'impact est difficilement identifiable sur les piézomètres comme sur les débits des cours d'eau, sont à ajouter aux volumes calculés.

Sur la chronique de Cloué, les prélèvements saisonniers ont un impact important. En tenant compte des prélèvements actuels, selon le modèle, le DOE ne serait pas respecté à peu près une année sur 5 et le DCR une année sur 20 voire sur 30.

La comparaison des courbes théoriques avec la chronique réelle montre une situation moins optimiste. Le modèle ne prend peut être pas implicitement en compte tous les prélèvements AEP où il existe peut être sur ce bassin versant des prélèvements saisonniers en rivière importants. En effet, il convient de rappeler que ces derniers ne sont pas comptabilisés dans les tableaux.

	CLAIN/Sous bassin VONNE	CAGNOCHE m NGF		CLOUE (m3/s)		Volume disponible par rapport DOE (Mm ³)		Volume disponible par rapport DCR (Mm ³)	
		1er Mars	1er Avril	1er Mars	1er Avril	BV Cloué	BV VONNE	BV Cloué	BV VONNE
Résultats de la modélisation des chroniques	10 années humides (10%)	146.5	146.5	10.9	6.7	13.0	18.9	14.0	20.4
	3 années humides (30%)	144.7	144.7	6.4	3.3	5.4	7.8	6.6	9.6
	Médiane (50%)	143.7	143.8	4	1.9	3.7	5.4	5.0	7.3
	3 années sèches (70%)	142.8	142.8	2.4	1.1	2.1	3.1	3.5	5.1
	5 années sèches (80%)					1.3	1.9	2.9	4.2
	10 années sèches (90%)	141.1	141.4	1.1	0.8	0.6	0.9	2.2	3.2
	40 années sèches (97.5%)	139.1	139.2	0.67	0.63	-2.8	-4.1	0.6	0.9

Prélèvements agricoles - VONNE (m ³)	2000								1002660
	2001								873977
	2002								1161103
	2003								1400162
	2004								1413717
Prélèvements AEP - VONNE (m ³)	2000								3875472
	2001								3444297
	2002								2435434
	2003								2264949
	2004								2111317
Moyenne des prélèvements (m ³)	Agricole								1170324
	AEP								2826294
	Agricole + 1/2AEP								2583471

illustration 67 : Volumes disponibles calculés à partir du modèle de la station de Cloué, historiques des prélèvements en nappe depuis 2000 sur le bassin de la Vonne

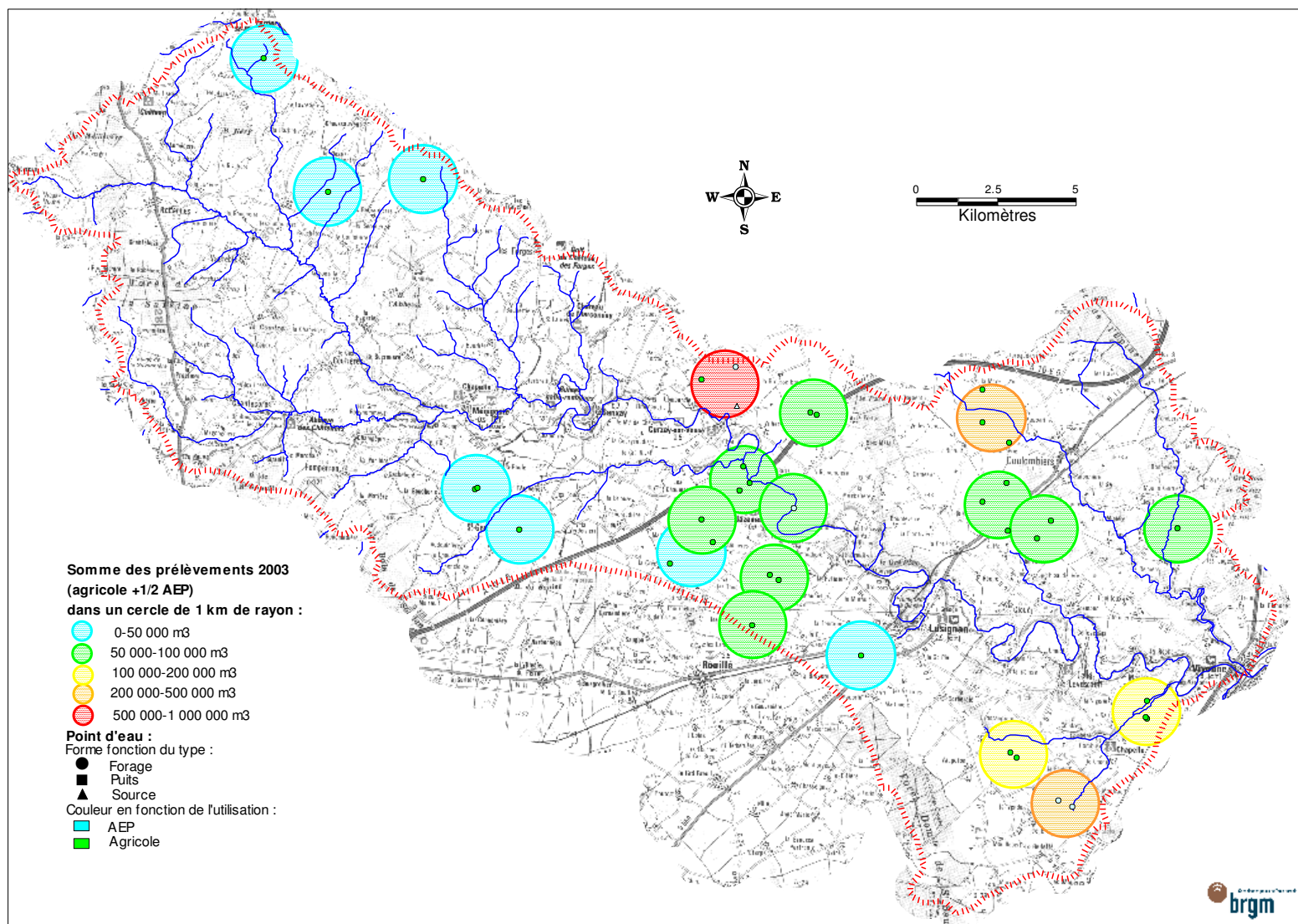


illustration 68 : Répartition des prélèvements sur le bassin versant de la Vonne

4.2.5 Sous bassin de la Dive du sud et de la Bouleure

Analyse des chroniques piézométriques

Les bassins versants de la Dive du Sud et de la Bouleure peuvent être divisés en 2. Dans les parties amont, les cours d'eau se perdent dans le Jurassique supérieur pour rejoindre la nappe du Dogger et s'écouler vers le bassin de la Sèvre Niortaise pour la Dive, peut être vers le bassin de la Charente pour la Bouleure. En été, les ruisseaux se trouvent presque en totalité à sec dans la zone amont. La partie amont de la Dive est à rattacher au bassin versant de la Sèvre Niortaise. La limite est assez bien connue. Dans l'état actuel des connaissances, la partie amont de la Bouleure en revanche reste rattachée au bassin du Clain.

Dans la partie aval, 2 stations piézométriques (Couhé1 et 2) permettent de suivre la nappe du Dogger et la nappe de l'Infra-Toarcien dans la vallée de la Dive. Ces deux piézomètres ont été analysés.

La modélisation du piézomètre de Couhé1 au Dogger a nécessité l'introduction d'un seuil de débordement et d'un niveau de base pour intégrer au mieux les effets des pompages. Ces pompages ont été particulièrement importants avant 1999 et depuis 2003. La superposition des graphes des 2 piézomètres (ill. 71) souligne l'importance de ces pompages qui se marquent encore plus sur la chronique de l'Infra-Toarcien (Couhé2). En hautes eaux, l'Infra-Toarcien se trouverait légèrement en charge au-dessus du Dogger ; en basses eaux, l'Infra-Toarcien est très déprimé par rapport au niveau du Dogger. La comparaison de ces 2 graphes souligne aussi, au niveau des ouvrages, une certaine déconnexion des 2 aquifères par les niveaux marneux du Toarcien.

La chronique de l'Infra-Toarcien (Couhé2) présente un niveau de débordement très net, proche de celui noté pour le Dogger, correspondant aussi à la cote du sol au niveau de l'ouvrage. Ces seuils sont proches des cotes de la Dive de Couhé et des sources qui sortent dans le secteur.

On retrouve sur Couhé2 les mêmes difficultés pour caler le modèle sur les années 2002 et 2005. Comme pour Couhé1, dans ces années sèches, les écarts avec le modèle mettraient en évidence des apports aux nappes que l'on n'explique pas.

En période de basses eaux, les niveaux des deux nappes se trouvent nettement inférieures aux cotes de la rivière.

Les modèles soulignent aussi les similitudes de comportement des deux nappes, avec une composante lente prépondérante montrant un pic au bout de 2 mois après une impulsion et un retour à l'état initial au bout de plus de 6 mois pour la nappe du Dogger et de l'ordre de 10 mois pour celle de l'Infra-Toarcien (cf. annexe 2). D'une manière générale, l'écrêtement des hautes eaux et l'impact important des pompages font de ces ouvrages des indicateurs assez mal adaptés pour la gestion.

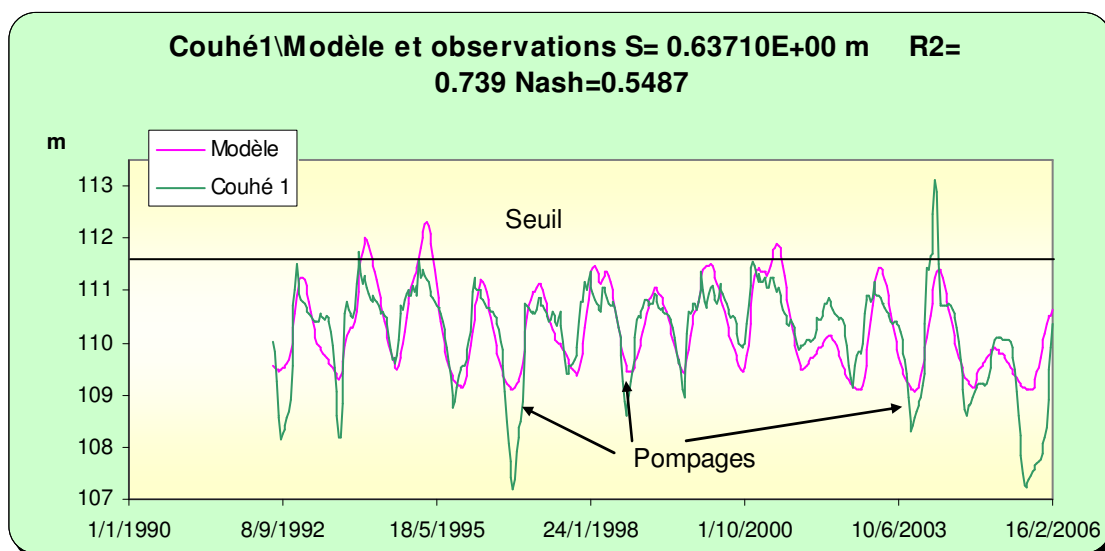


illustration 69 : Modélisation de la chronique piézométrique de Couhé1 (Dogger)

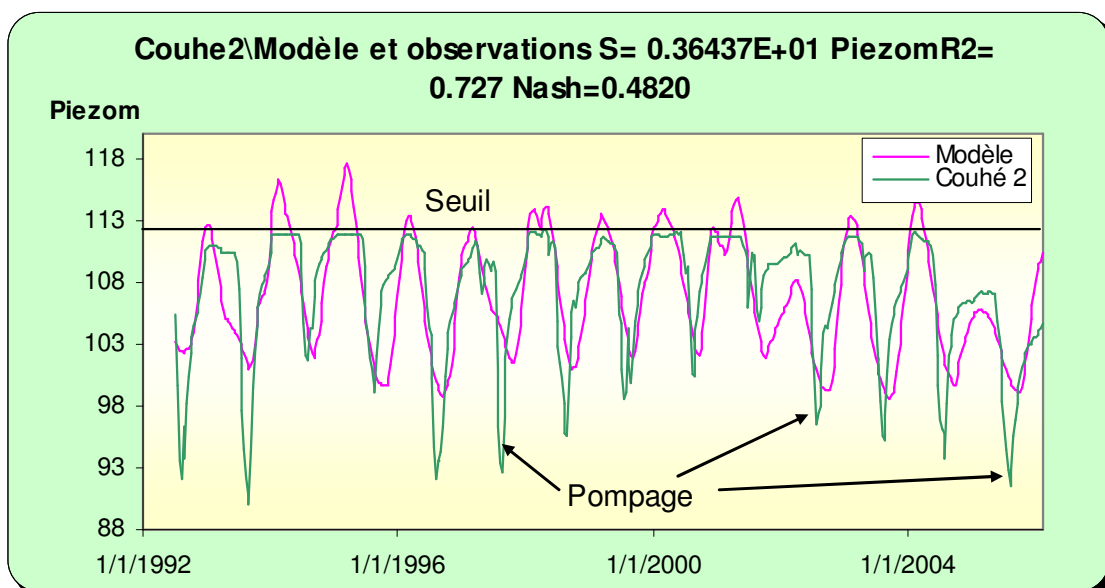


illustration 70 : Modélisation de la chronique piézométrique de Couhé 2 (Infra-Toarcien)

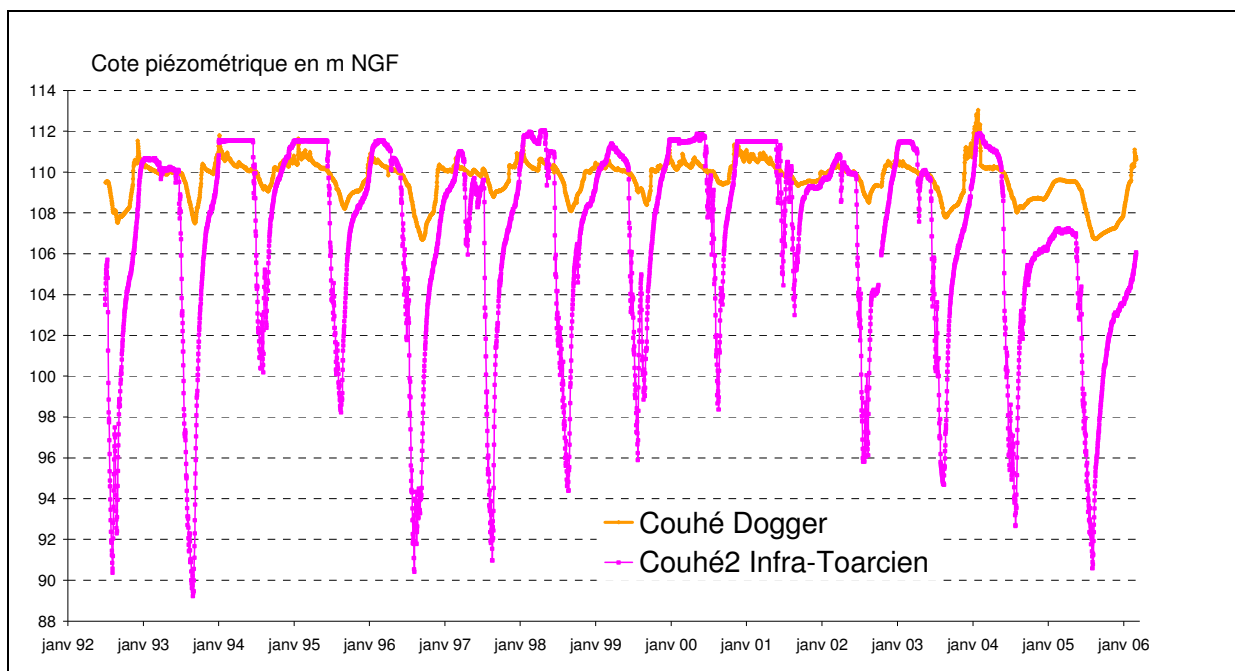


illustration 71 : Comparaison des chroniques de Couhé 1 et de Couhé 2

Recherche d'indicateurs de gestion

Les deux piézomètres précédents ont été utilisés en entrée pour modéliser la chronique de mesures de débits de la station de Voulon, située tout à fait à l'aval du bassin de la Dive du Sud (ou de Couhé), près de la confluence avec le Clain.

Le calage des modèles est tout à fait satisfaisant tant avec Couhé1 en entrée qu'avec Couhé2. La comparaison des résultats de ces modélisations montre toutefois que la participation de la nappe du Dogger au débit de la rivière (à Voulon) serait légèrement supérieure à celle de la nappe de l'Infra-Toarcien, mais surtout que cette contribution est plus rapide avec un maximum des arrivées d'eau au bout d'un mois pour le Dogger et au bout de 2 mois pour l'Infra-Toarcien. La contribution des deux nappes est nettement prépondérante en été par rapport aux ruissellements et circulations karstiques rapides.

A Voulon le DOE a été fixé à $0.24 \text{ m}^3/\text{s}$ et le DCR à 0.136. Selon le modèle de cette station (avec en entrée le piézomètre de Couhé1) utilisé en simulation, ces débits ne seraient pas respectés moins d'une année sur 10 pour le DOE et moins d'une année sur 40 environ pour le DCR, dans des conditions non influencées par des

prélèvements saisonniers (agricoles essentiellement). La courbe 5 ans secs nous donne un débit d'étiage de 0.26, ce qui est très proche du DOE actuel.

La comparaison des courbes théoriques (10 ans et 40 ans secs) avec la chronique de mesures montre que les prélèvements feraient passer les périodicités de retour à environ 1 année sur 3 pour le DOE et une année sur 10 pour le DCR. L'année 2005 aurait une périodicité de retour supérieure à 40 ans.

L'observation des courbes données par les modèles pour Voulon et pour Couhé1 pour des périodes de retour de 10 ans et de 40 ans (proche du DCR) est résumée dans le tableau de correspondance ci-dessous.

DIVE/BOULEURE	Période de retour 10 ans secs (DOE)		Période de retour 40 ans secs proche du DCR	
	Couhé1 en m NGF	Voulon en m ³ /s	Couhé1 en m NGF	Voulon en m ³ /s
01-mars	109.8	1.6	109.1	1
01-avr	109.6	1.23	109	0.95
01-mai	109.2	1.07	108.9	0.8
01-juin	108.8	0.85	108.6	0.65
01-juil	108.4	0.61	108.2	0.47
01-août	108.1	0.41	107.84	0.28
01-sept	107.9	0.24	107.7	0.12
01-oct	107.9	0.22	107.6	0.07

illustration 72 : Niveaux et débits donnés par le modèle pour des périodes de retour correspondant au DOE et au DCR

La superposition des courbes théoriques sur l'historique de la chronique de Couhé1 montre un décalage assez net à la fin du printemps et au début de l'été. L'historique des mesures de niveaux permet d'identifier un palier vers 110 m NGF autour duquel le niveau de la nappe du Dogger se stabilise en général jusqu'au mois d'août. Ce palier, souligné par le décalage avec le modèle, pourrait s'expliquer par le soutien de la nappe par la rivière (il conviendrait de vérifier les cotes par des nivellements). Dès que la rivière ne peut plus soutenir la nappe le niveau piézométrique s'effondre. Le même phénomène de soutien par la rivière pourrait aussi expliquer les cotes de nappe « anormalement » hautes pour le modèle les années particulièrement sèches (2002 et 2005).

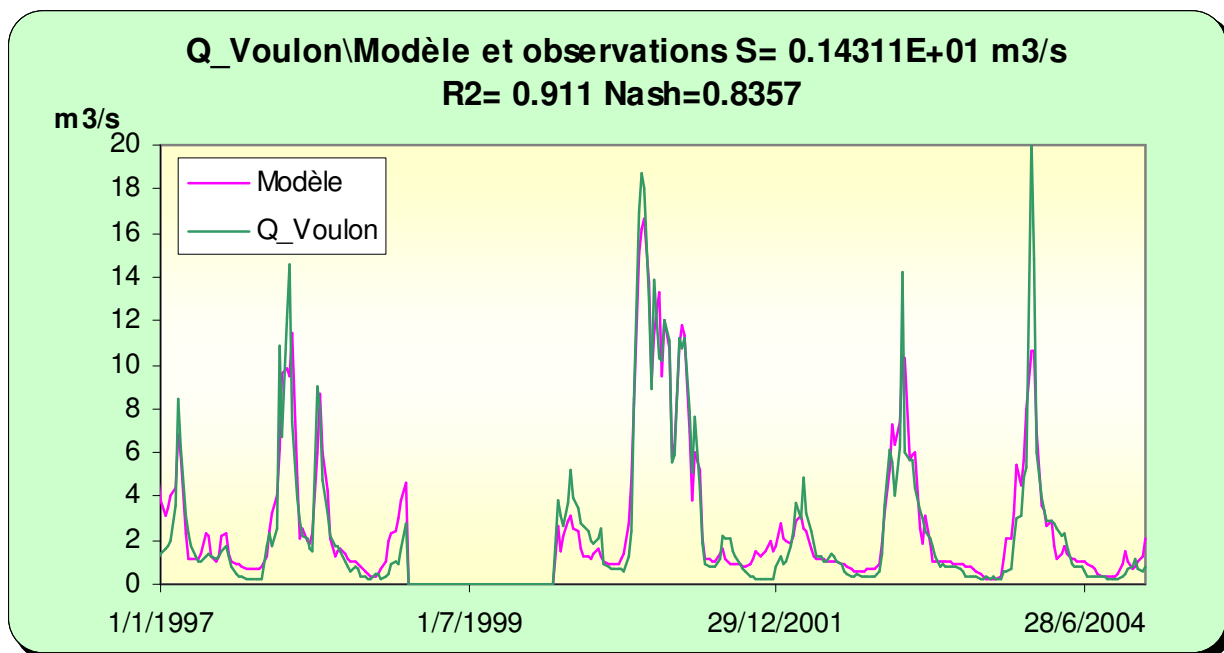


illustration 73 : Modélisation du débit de la rivière à Voulon avec en entrée le piézomètre de Couhé 1

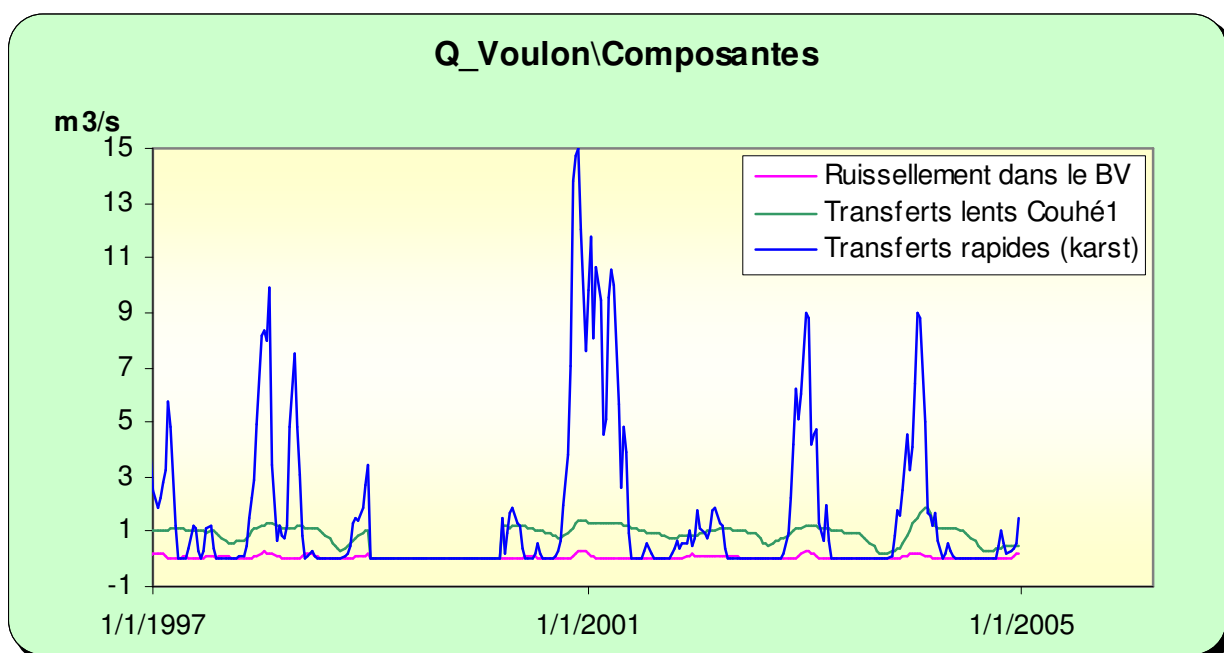


illustration 74 : Composantes du débit de la rivière à Voulon avec en entrée le piézomètre de Couhé1

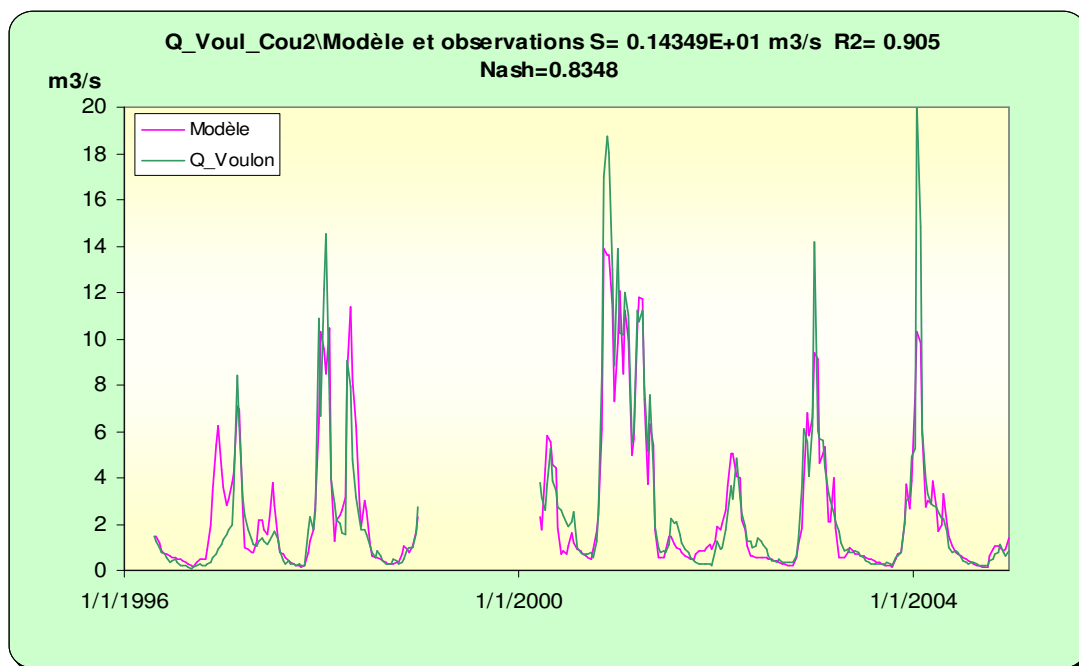


illustration 75 : Modélisation du débit de la rivière à Voulon avec en entrée le piézomètre de Couhé 2

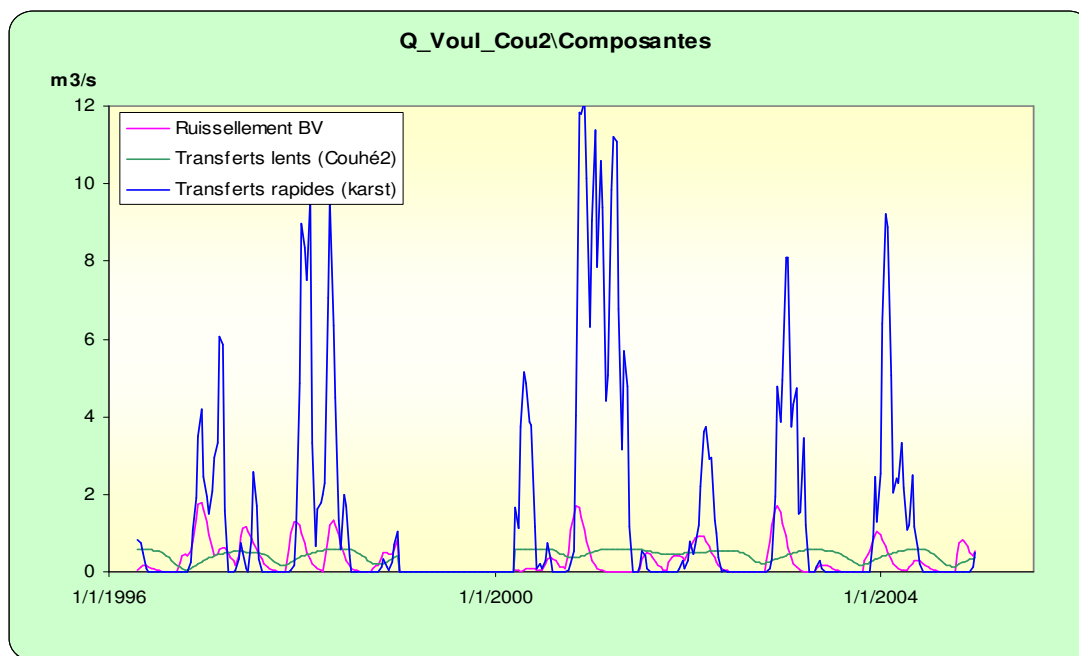


illustration 76 : Composantes du débit de la rivière à Voulon avec en entrée le piézomètre de Couhé2

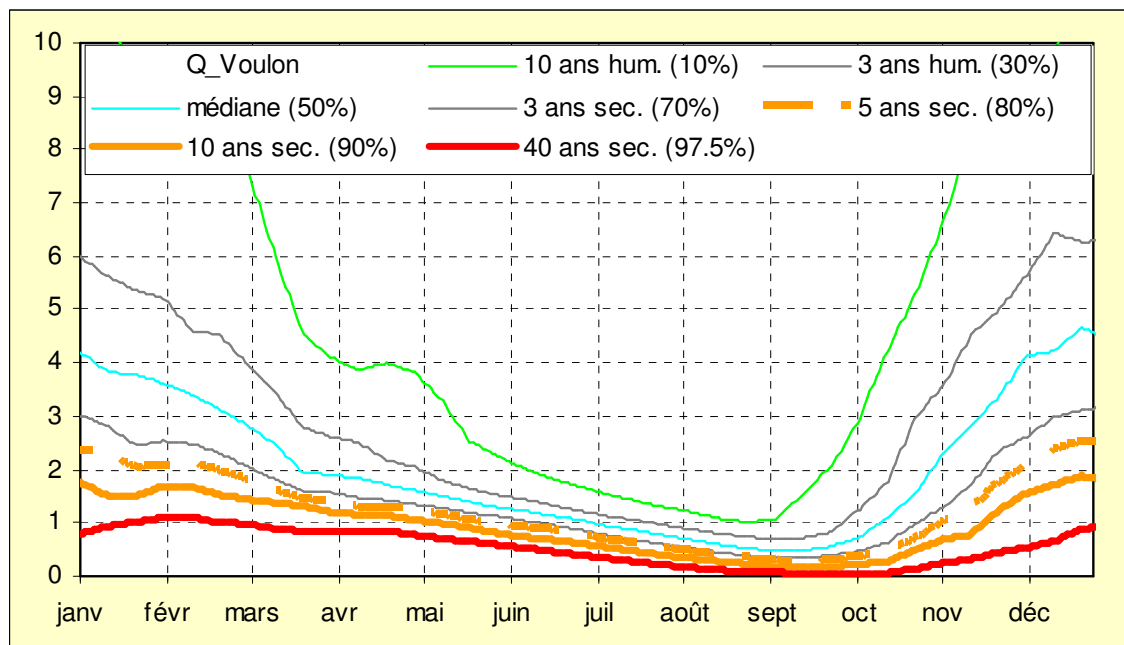


illustration 77 : Courbes théoriques d'évolution du débit à Voulon en fonction des périodes de retour.

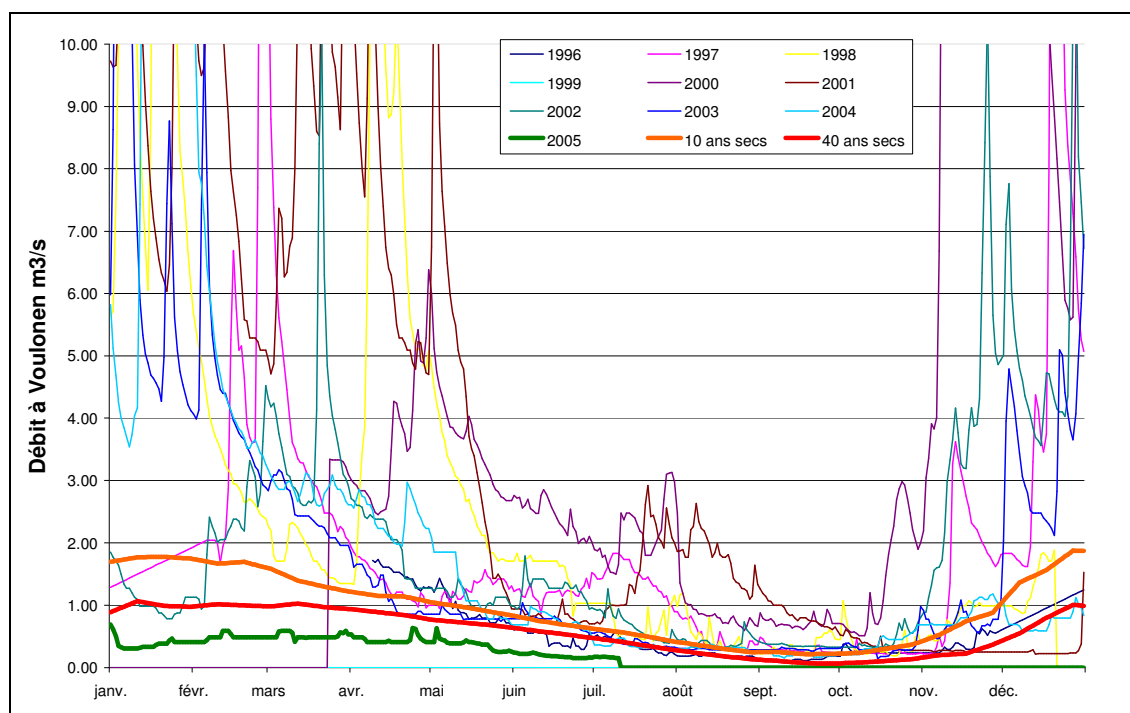


illustration 78 : superposition des courbes théoriques correspondant au DOE et DCR avec la chronique de Voulon

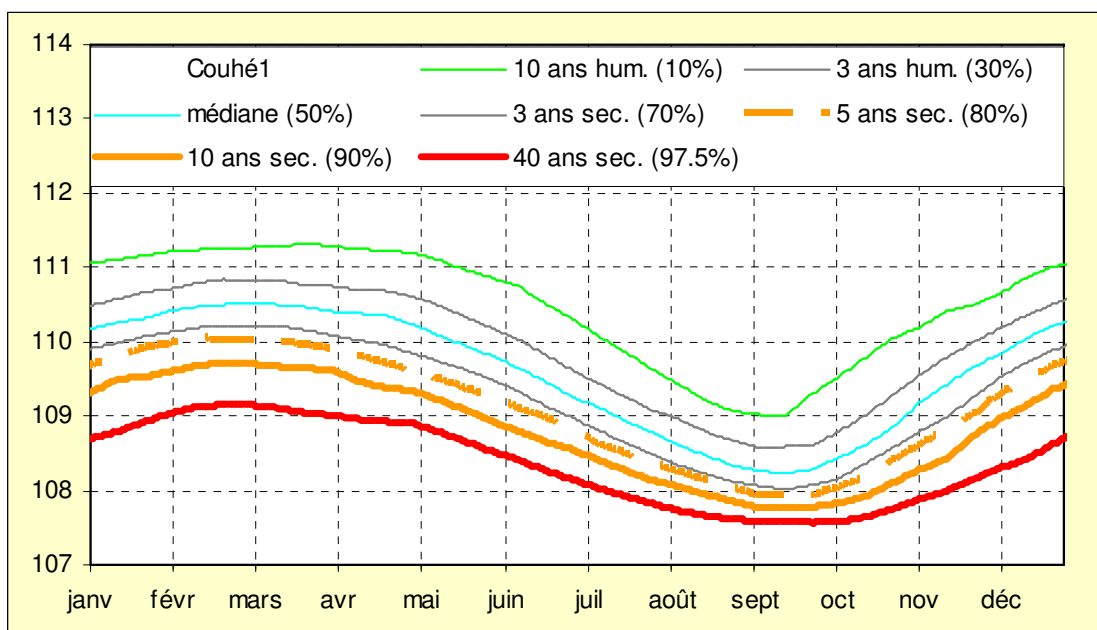


illustration 79 : Courbes théoriques d'évolution des niveaux au piézomètre de Couhé1 en fonction des périodes de retour.

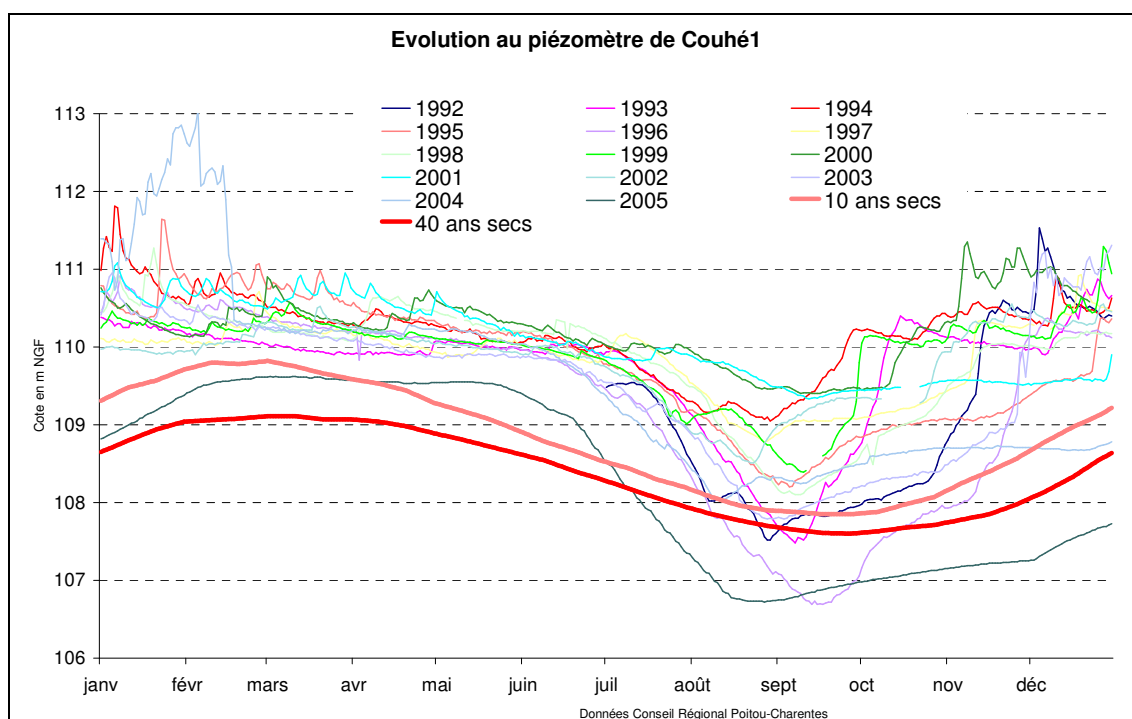


illustration 80 : Superposition des courbes théoriques correspondant au DOE et DCR avec la chronique piézométrique de Couhé1

Approche des volumes disponibles

Selon le tableau de l'illustration 81, avec 1 Mm³ environ de disponible pour plus de 4 Mm³ prélevés actuellement en moyenne, les économies à faire sur les prélèvements sont importantes pour respecter le DOE 4 années sur 5. Du fait des prélèvements, le DOE, qui aurait une périodicité de retour « pseudo-naturelle » de 10 ans selon le modèle, ne serait pas respecté une année sur 3 environ ce qui est conforme avec la chronique de débits à Voulon.

De la même manière, le DCR, qui ne serait pas respecté "naturellement" (les prélèvements AEP sont toutefois compris sous ce terme) tous les 20/30 ans, est du fait des prélèvements saisonniers non respectés tous les 10 ans environ.

Ces prélèvements ne sont pas répartis uniformément (ill. 82) sur l'ensemble du bassin versant et impactent majoritairement le débit de la Dive à Voulon.

Dans la zone de gestion proposée, et à laquelle fait référence le tableau, le bassin de la Dive du Sud a été tronqué de sa partie amont du fait des pertes de la Dive entre Lezay et Rom, qui rejoignent intégralement la Sèvre Niortaise à partir du printemps. La superficie du bassin hydrologique de la station de Voulon est dans ce cas de figure de 96 km². Les volumes calculés ont été rapportés à la totalité de la zone de gestion Dive/Bouleure d'une superficie de 276 km².

	CLAIN/Sous bassin DIVE_BOULEURE	COUHE1 m NGF		VOULON (m3/s)		Volume disponible par rapport DOE (Mm ³)		Volume disponible par rapport DCR (Mm ³)	
		1er Mars	1er Avril	1er Mars	1er Avril	BV Voulon	BV DIVE_BOULEURE	BV Voulon	BV DIVE_BOULEURE
Résultats de la modélisation des chroniques	10 années humides (10%)	111.3	111	6.3	4.5	9.6	27.6	10.0	28.8
	3 années humides (30%)	111	110.7	3.7	2.4	6.0	17.3	7.2	20.7
	Médiane (50%)	110.6	110.3	2.6	1.7	3.6	10.4	4.8	13.8
	3 années sèches (70%)	110.2	110	1.9	1.5	1.8	5.2	3.0	8.6
	5 années sèches (80%)					0.3	0.9	2.4	6.9
	10 années sèches (90%)	109.8	109.6	1.5	1.2	-2.2	-6.3	1.2	3.5
	40 années sèches (97.5%)	109.1	109	1	0.9	-6.6	-19.0	-3.0	-8.6

Prélèvements agricoles - DIVE- BOULEURE (m ³)	2000								3670575
	2001								3848598
	2002								4293218
	2003								5204442
	2004								4366777
Prélèvements AEP - DIVE- BOULEURE (m ³)	2000								1128106
	2001								1340481
	2002								1374527
	2003								1121481
	2004								?
Moyenne des prélèvements (m ³)	Agricole								4276722
	AEP								1241149
	Agricole + 1/2AEP								4897296

illustration 81 : Volumes disponibles calculés pour la zone de gestion Dive/Bouleure à partir du modèle par rapport aux objectifs DOE et DCR ; historique des prélèvements agricoles et AEP.

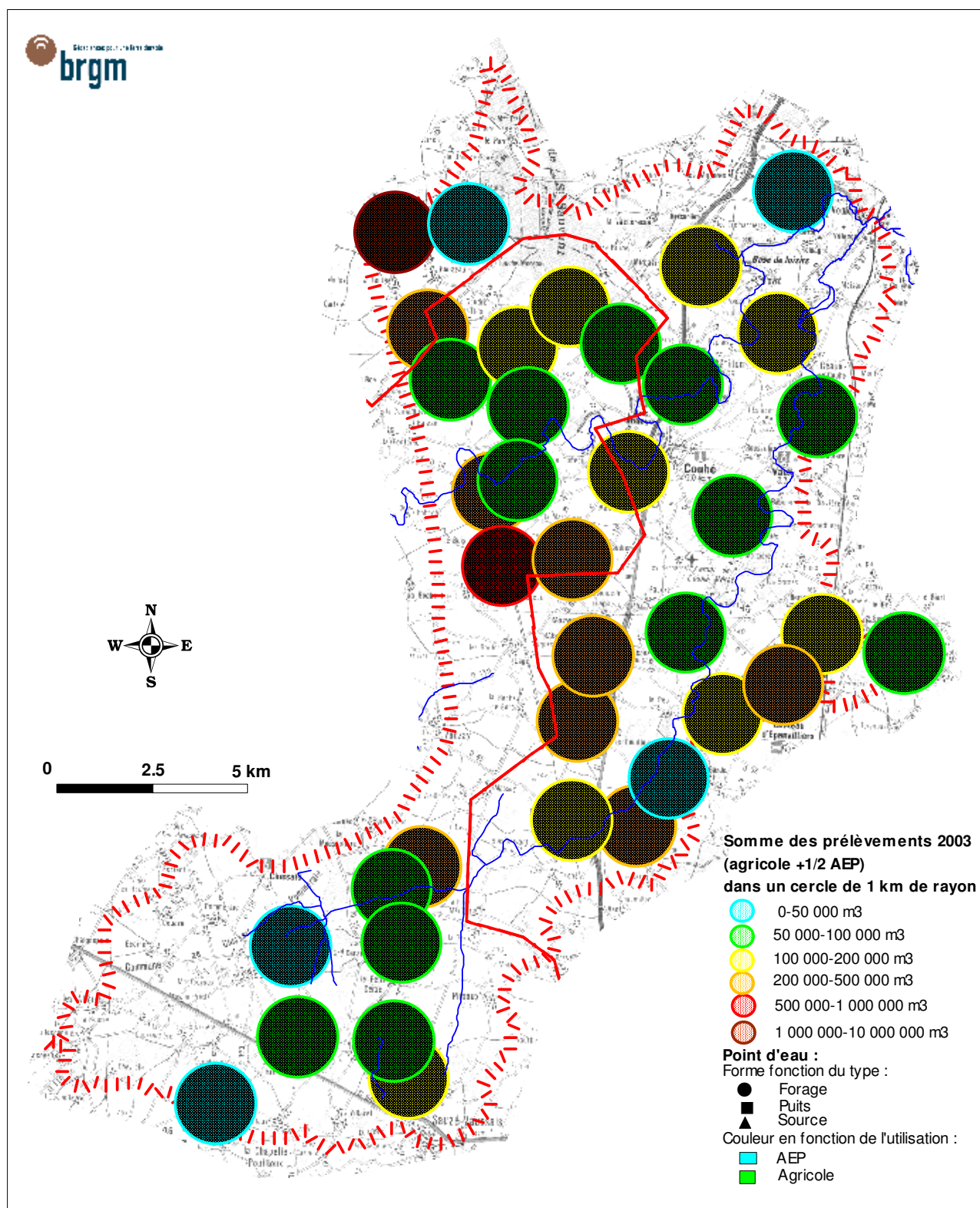


illustration 82 : Densité des prélèvements pour l'unité de gestion Dive/Bouleure

4.2.6 Sous bassin du Clain moyen et amont

Analyse des chroniques piézométriques

Ce sous-bassin versant s'étend depuis l'extrémité amont du bassin du Clain, sur des terrains de socle des contreforts du Massif Central, jusqu'à Poitiers. Il peut être subdivisé en 2 parties : une partie amont jusqu'à la confluence avec la Dive de Couhé, fortement dissymétrique avec une rive droite réduite, et une partie aval qui reçoit les principaux affluents du Clain. L'analyse porte principalement sur la première partie où l'on peut comparer les niveaux de nappe avec le débit de la station de Petit-Allier.

Entre Clain et Charente, les piézométries de la nappe du Dogger montrent une limite assez incertaine entre les 2 bassins versants souterrains. Dans ce secteur, il existe plusieurs piézomètres : Saizines et Lacie (non retenu pour la modélisation) à la nappe infra-toarcienne, Le Bé (dont la chronique est trop courte pour réaliser une modélisation) et St-Romain (Les Renardières). Dans la partie aval, le piézomètre de Vamoreau (Vallée Moreau) n'a pas été retenu car la chronique est trop courte.

Les piézomètres de St-Romain (Dogger) et des Saizines (Infra-Toarcien), qui sont proches, montrent des comportements assez similaires avec des écoulements souterrains lents et des réponses impulsionnelles presque identiques (un pic impulsionnel au bout de 3 mois et un retour à l'état initial au bout d'une année), caractérisant des nappes captives à semi-captives. La mise en charge y est rapide. Le piézomètre de St-Romain capte l'aquifère du Dogger "libre" mais la couverture argileuse du réservoir expliquerait un état captif en hautes eaux. Les deux piézomètres présentent aussi des cotes de débordement.

Le piézomètre des Saizines montre toutefois un comportement assez singulier, déjà observé mais avec moins de netteté sur plusieurs chroniques. Dans les années sèches (2002 et 2005) la pluie ne permet pas d'expliquer le soutien du niveau de la nappe. Tout se passe comme si celle-ci était soutenue par des apports d'un "réservoir" tampon (de la nappe du Dogger ? voire apports des rivières).

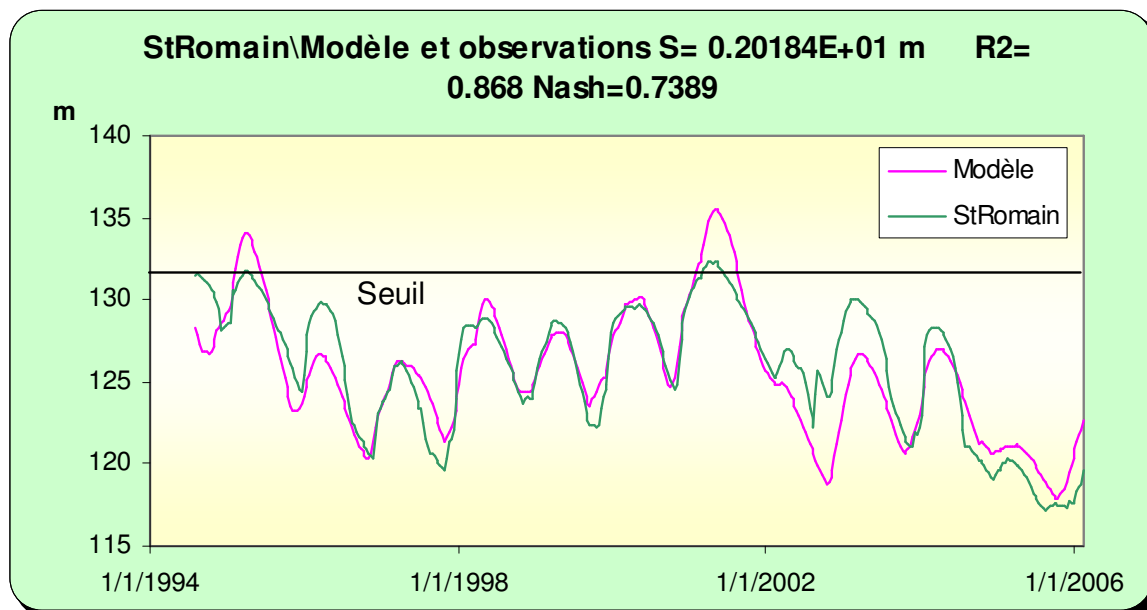


illustration 83 : Modélisation de la chronique piézométrique de St-Romain (Dogger)

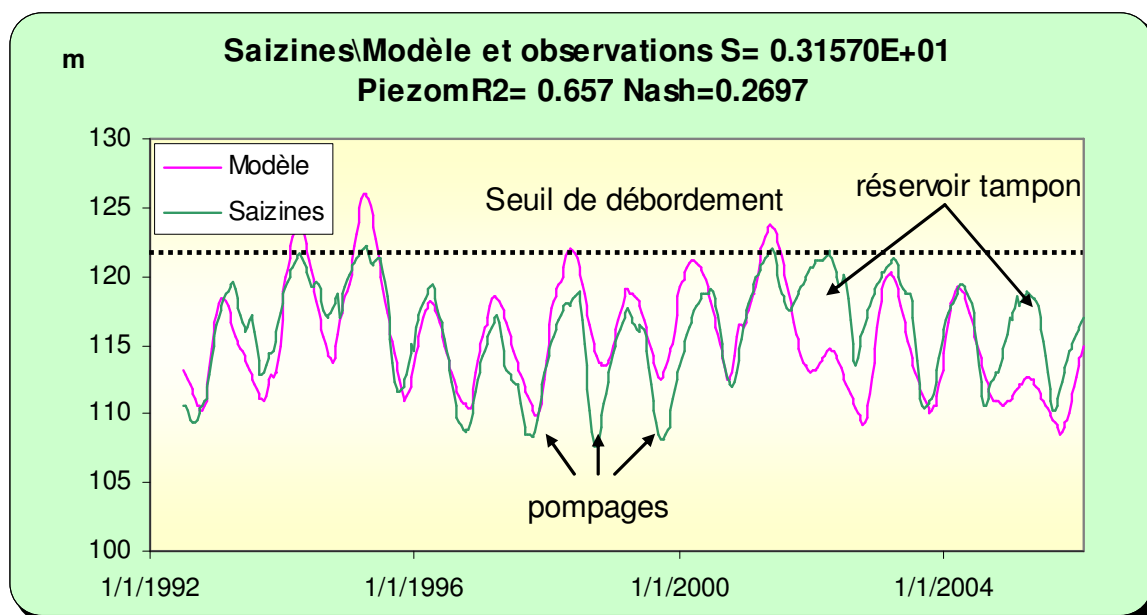


illustration 84 : Modélisation de la chronique des Saizines (Infra-Toarcien)

Recherche d'indicateurs de gestion

Les modèles des piézomètres de St-Romain et de Saizines ont été utilisés en entrée pour modéliser les débits à la station de Petit-Allier. Afin d'enlever l'impact des apports de la Dive de Couhé, le modèle de Voulon a été également ajouté en entrée. Il est à noter que le débit à Petit-Allier intègre les apports de la Bouleure qui ne sont en revanche pas pris en compte dans les mesures à la station de Voulon (mais données depuis 2000). Les apports de la Dive de Couhé contribuent en moyenne à 36 % du débit du Clain à Petit-Allier.

Un premier calage réalisé sans faire intervenir Voulon, ce qui a permis de caler sur un historique plus long, a montré que, en périodes d'étiage, les résultats obtenus sont meilleurs en utilisant le modèle de St-Romain, moins impacté par les pompages, que le modèle du piézomètre des Saizines. Le premier est donc mieux adapté à la gestion.

Les crues sont bien moins reproduites du fait des phénomènes de ruissellement et de débordements de nappe sur le bassin versant. La décomposition des apports montre, que sur le débit du Clain à Petit Allier, les apports de la Dive de Couhé ont une contribution importante mais différée dans le temps. Le caractère peu perméable du substratum dans le bassin versant amont du Clain (socle et marnes du Toarcien) explique vraisemblablement des transferts plus rapides des pluies vers la rivière (ruissellement prépondérant). La contribution de la nappe (piézomètre de St-Romain, Dogger) est assez faible sauf en période d'étiage où elle devient prépondérante. Des résultats similaires ont été obtenus en utilisant le piézomètre des Saizines.

A Petit-Allier, au droit de Vivonne, le DCR du Clain a été fixé à $0.818 \text{ m}^3/\text{s}$ et le DOE à $1.443 \text{ m}^3/\text{s}$. Le modèle utilisé en simulation montre que le DCR ne serait pas respecté une année sur dix environ, en considérant un état non influencé par les pompages saisonniers, et le DOE une année sur 3. La courbe 5 ans secs calculée à partir du modèle donne un débit d'étiage autour de $1.2 \text{ m}^3/\text{s}$.

La comparaison des courbes théoriques avec les courbes mesurées (ill. 91 et 93) confirme cette analyse statistique. A Petit-Allier, le débit critique n'a pas été atteint en 1992, 1993 et 2005. On constate sur les chroniques réelles une avancée de l'étiage, due aux prélèvements, par rapport au modèle qui restitue lui un état non influencé par les pompages saisonniers (mais les pompages AEP sont implicitement intégrés).

La même comparaison pour le piézomètre de St-Romain (les Renardières) souligne que l'année 2005 fut particulièrement atypique avec une période de retour qui se situe, comme pour les autres bassins versants, autour de 50 ans.

L'analyse des courbes théoriques conduit au tableau de synthèse ci-dessous qui permet d'envisager une gestion avec des seuils évolutifs plus en adéquation avec la réalité par rapport à des seuils fixes.

CLAIN AMONT	Période de retour 3 ans secs (DOE)		Période de retour 10 ans secs proche du DCR	
	St Romain en m NGF	Petit-Allier en m ³ /s	St Romain en m NGF	Petit-Allier en m ³ /s
01-mars	126.3	7.5	123.9	4.5
01-avr	126.4	4.4	124	3.1
01-mai	126.4	3.3	123.9	2.6
01-juin	125.9	2.5	123.4	2.1
01-juil	124.7	2.1	122.8	1.7
01-août	123.5	1.7	121.9	1.3
01-sept	122.5	1.3	121	1
01-oct	122	1.5	120.4	0.9

illustration 85 : Evolution théorique des niveaux sur le piézomètre de St-Romain et des débits sur la station de Petit-Allier pour les périodes de retour 3 ans secs (proche du DOE) et 10 ans secs (proche du DCR).

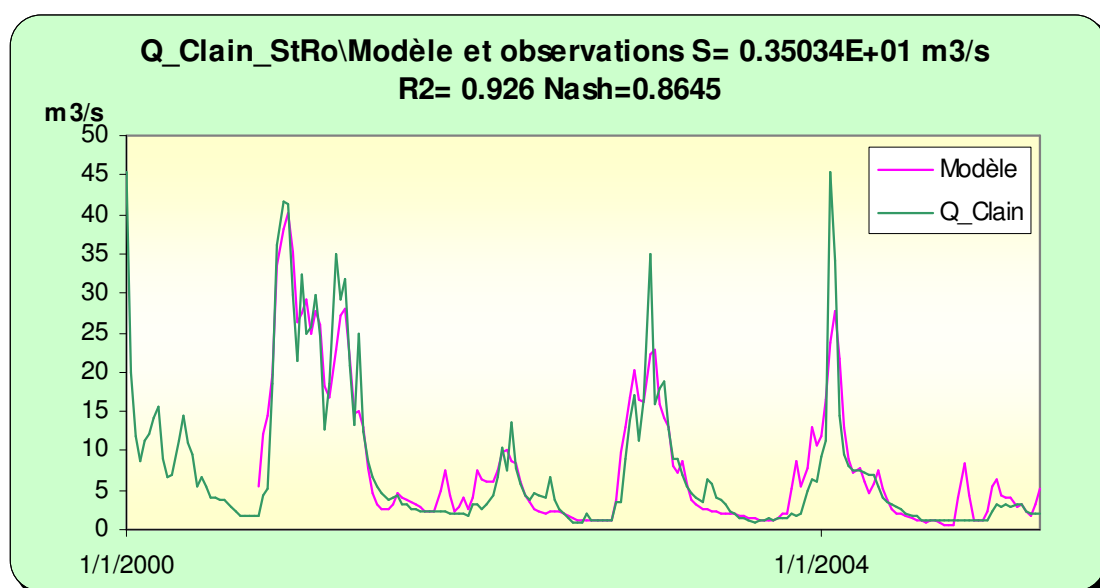


illustration 86 : Modélisation du débit du Clain à Petit-Allier avec en entrée St-Romain (Dogger) et la station de Voulon.

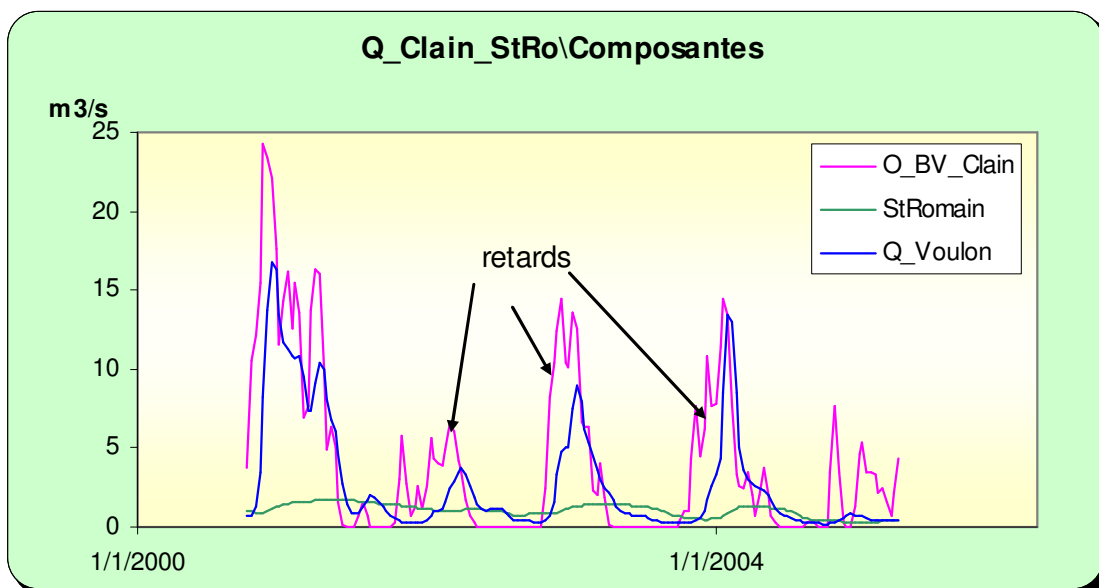


illustration 87 : décomposition des contributions au débit du Clain avec en entrée Voulon et St-Romain

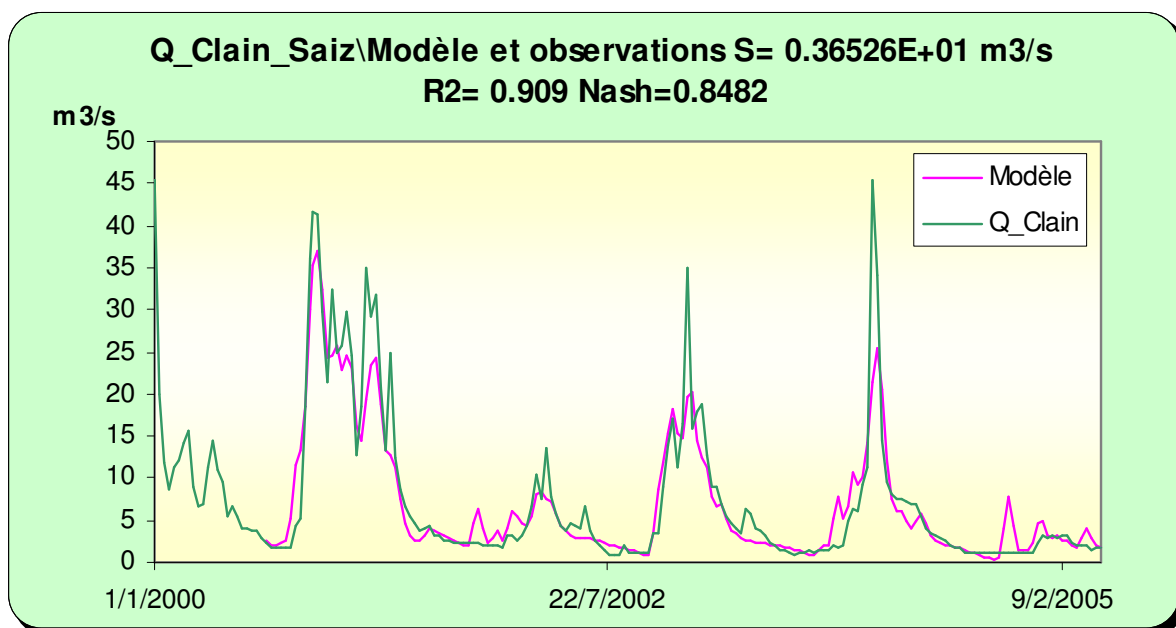


illustration 88 : Modélisation du débit du Clain à Petit-Allier avec en entrée Saizies (Infra-Toarcien) et la station de Voulon.

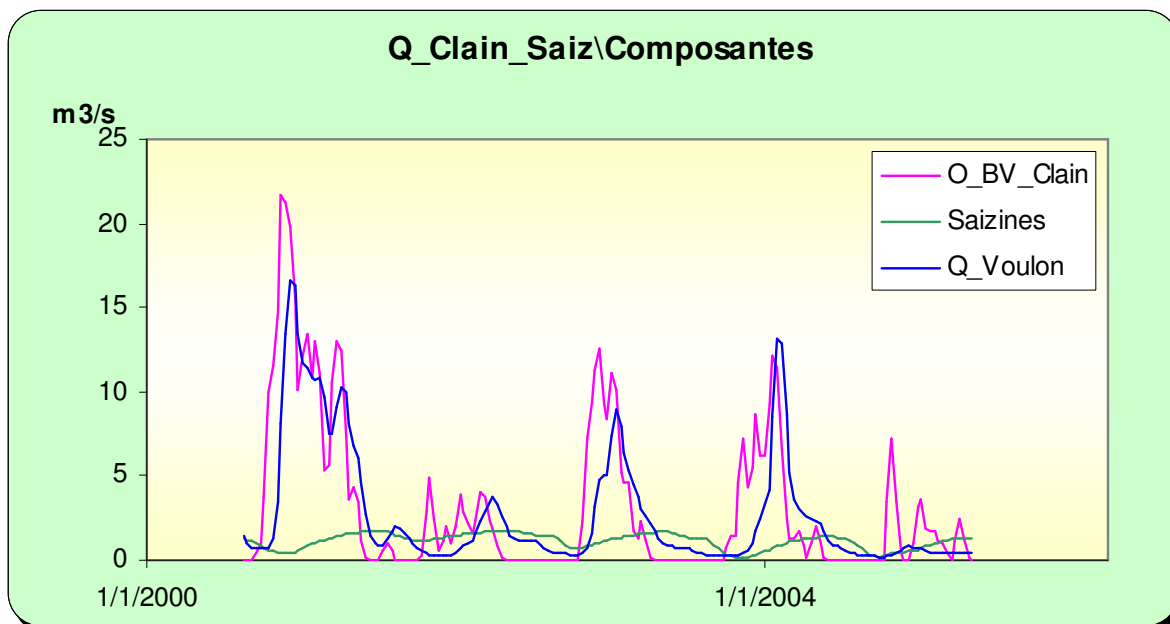


illustration 89 : Décomposition des contributions au débit du Clain avec en entrée Voulon et Saizines

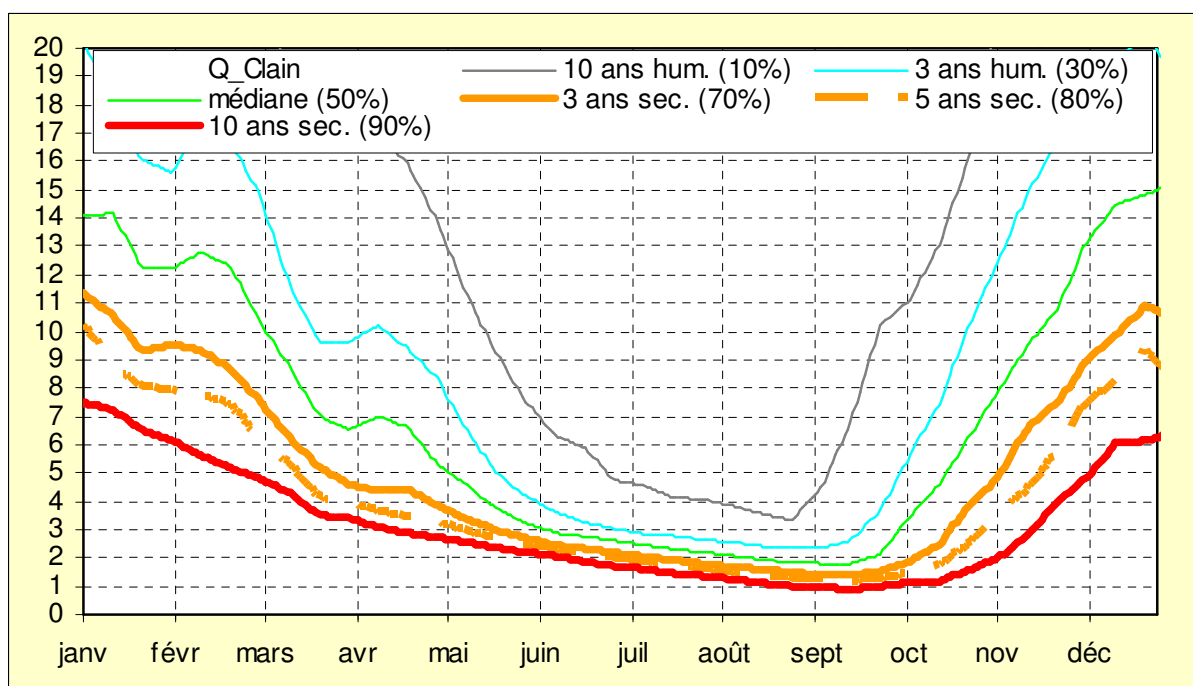


illustration 90 : Valeurs par pas de temps des débits calculés (en m^3/s) pour différentes périodes de retour (simulations non conditionnelles) pour la station de Petit-Allier.

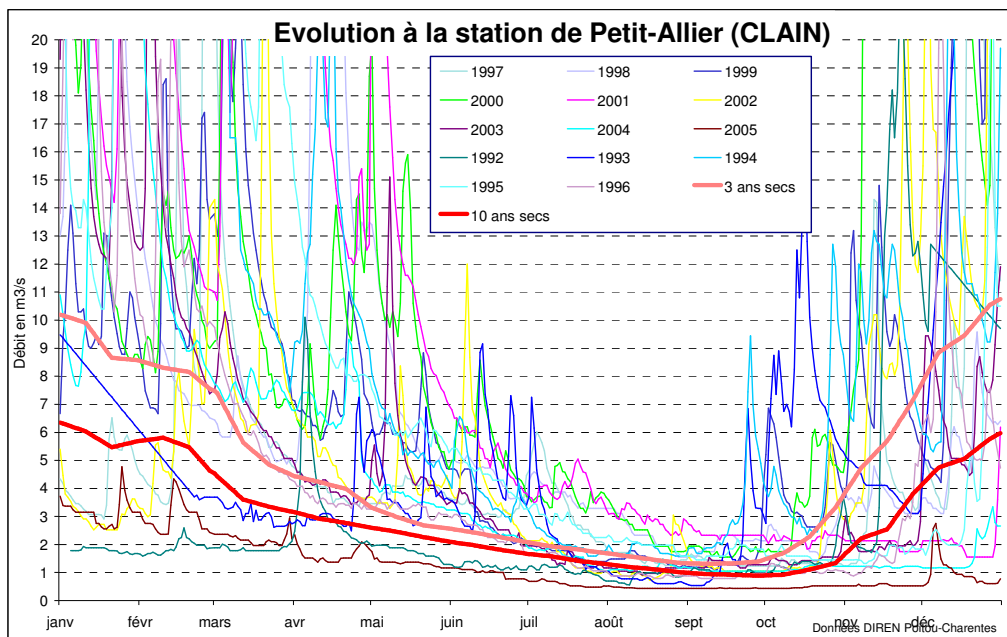


illustration 91 : Comparaison des courbes théoriques DOE (3 ans secs) et DCR (10 ans secs) avec la chronique de mesures (en m³/s).

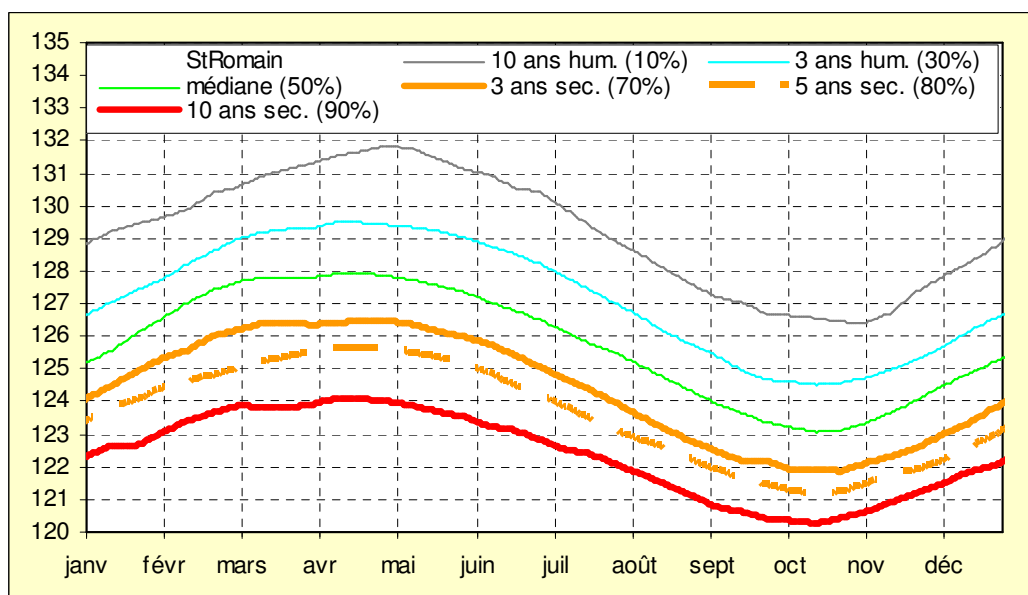


illustration 92 : Valeurs par pas de temps des niveaux calculés (en m NGF) pour différentes périodes de retour (simulations non conditionnelles) pour le piézomètre de St-Romain

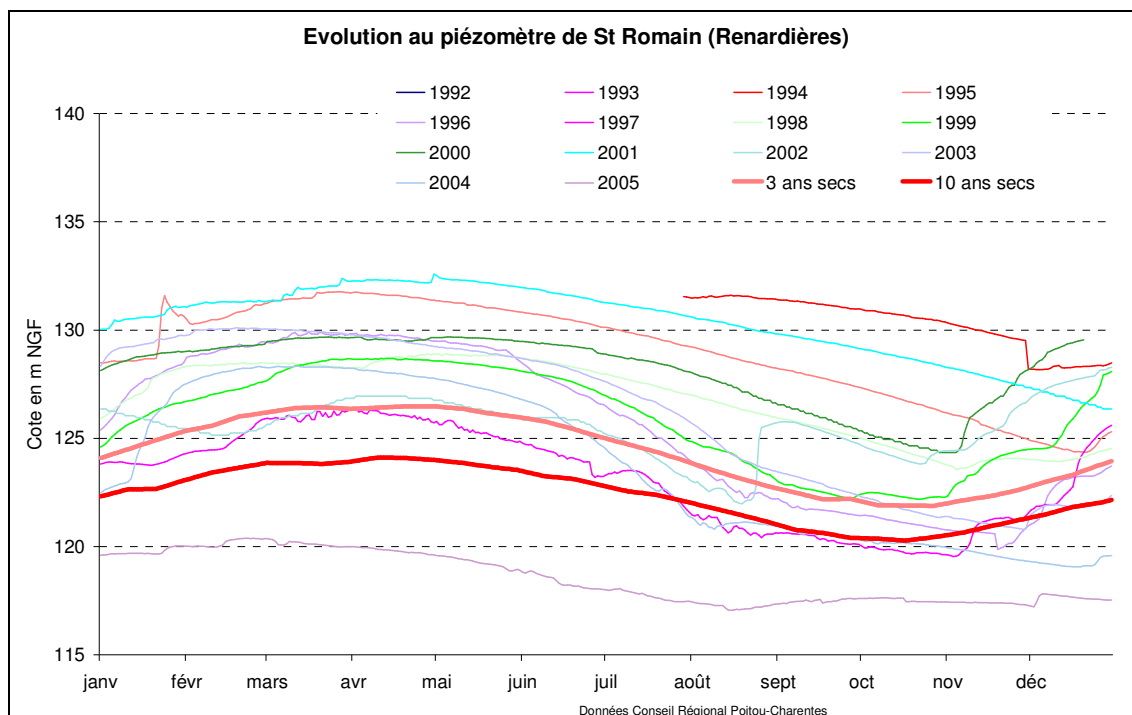


illustration 93 : Comparaison des courbes théoriques DOE (3 ans secs) et DCR (10 ans secs) avec la chronique de mesures (en m NGF).

Approche des volumes disponibles

La modélisation restitue des volumes disponibles sur le bassin versant de la station hydrologique de Petit-Allier par rapport à différentes situations (années sèches ou humides), correspondant à des niveaux observés au printemps sur le piézomètre de St-Romain, et par rapport aux objectifs de gestion (DOE et DCR). Les volumes disponibles sont donnés dans le tableau ci-dessous. Les historiques de prélèvements agricoles et AEP sur la zone de gestion proposée (Clain amont et moyen) sont aussi donnés à titre de comparaison. Les prélèvements AEP, non saisonniers, sont implicitement intégrés dans le modèle.

Le débit mesuré à Petit-Allier intègre les débits de la Dive (Voulon) et de la Bouleure, bassins versants correspondant à une autre unité de gestion. Le bassin versant de Petit-Allier a été estimé à 679 km², incluant celui de la Dive-Bouleure (276 km²). Les apports de ce dernier peuvent être estimés grossièrement compris entre 50 à 60 % du débit mesuré sur le Clain. Dans le tableau, une règle de 3 permet de ramener les volumes disponibles correspondant au bassin versant de Petit-Allier à la superficie de la zone de gestion Clain amont-moyen de 581 km².

La comparaison des volumes disponibles avec l'historique des prélèvements montre qu'une année sur 2 des économies sur les prélèvements agricoles sont nécessaires,

par rapport aux volumes prélevés ces dernières années, pour respecter le DOE (qui de toute façon ne sera pas atteint une année sur 3). Des économies sont nécessaires presque une année sur 5 pour rester au-dessus du DCR.

	CLAIN AMONT ET MOYEN	ST-ROMAIN m NGF		PETIT-ALLIER (m ³ /s)		Volume disponible par rapport DOE (Mm ³)		Volume disponible par rapport DCR (Mm ³)	
		1er Mars	1er Avril	1er Mars	1er Avril	BV Petit- Allier	BV Clain amont/ moyen	BV Petit- Allier	BV Clain amont/ moyen
Résultats de la modélisation des chroniques	10 années humides (10%)	130.6	130.8	21.8	13				
	3 années humides (30%)	128.4	128.8	14.5	8.5	10	9	16	14
	Médiane (50%)	127.3	127.6	10.2	6.1	4	3	12	10
	3 années sèches (70%)	126.3	126.4	7.5	4.4	-2	-2	8	7
	5 années sèches (80%)					-9.5	-8	5.6	5
	10 années sèches (90%)	123.9	123.6	4.5	3.1	-20	-17	2	2
	40 années sèches (97.5%)	121.5	121.7	2.8	2.1			-8	-7

Prélèvements agricoles - CLAIN AMONT- MOYEN (m ³)	2000								3934810
	2001								4019576
	2002								3944704
	2003								5533316
	2004								5369923
Prélèvements AEP - CLAIN AMONT- MOYEN (m ³)	2000								3296972
	2001								3813282
	2002								3616744
	2003								3538593
	2004								?
Moyenne des prélèvements (m ³)	Agricole								4560466
	AEP								3566398
	Agricole + 1/2AEP								6343665

illustration 94 : Volumes disponibles calculés pour la zone de gestion Clain amont/moyen à partir du modèle par rapport aux objectifs DOE et DCR ; historique des prélèvements agricoles et AEP.

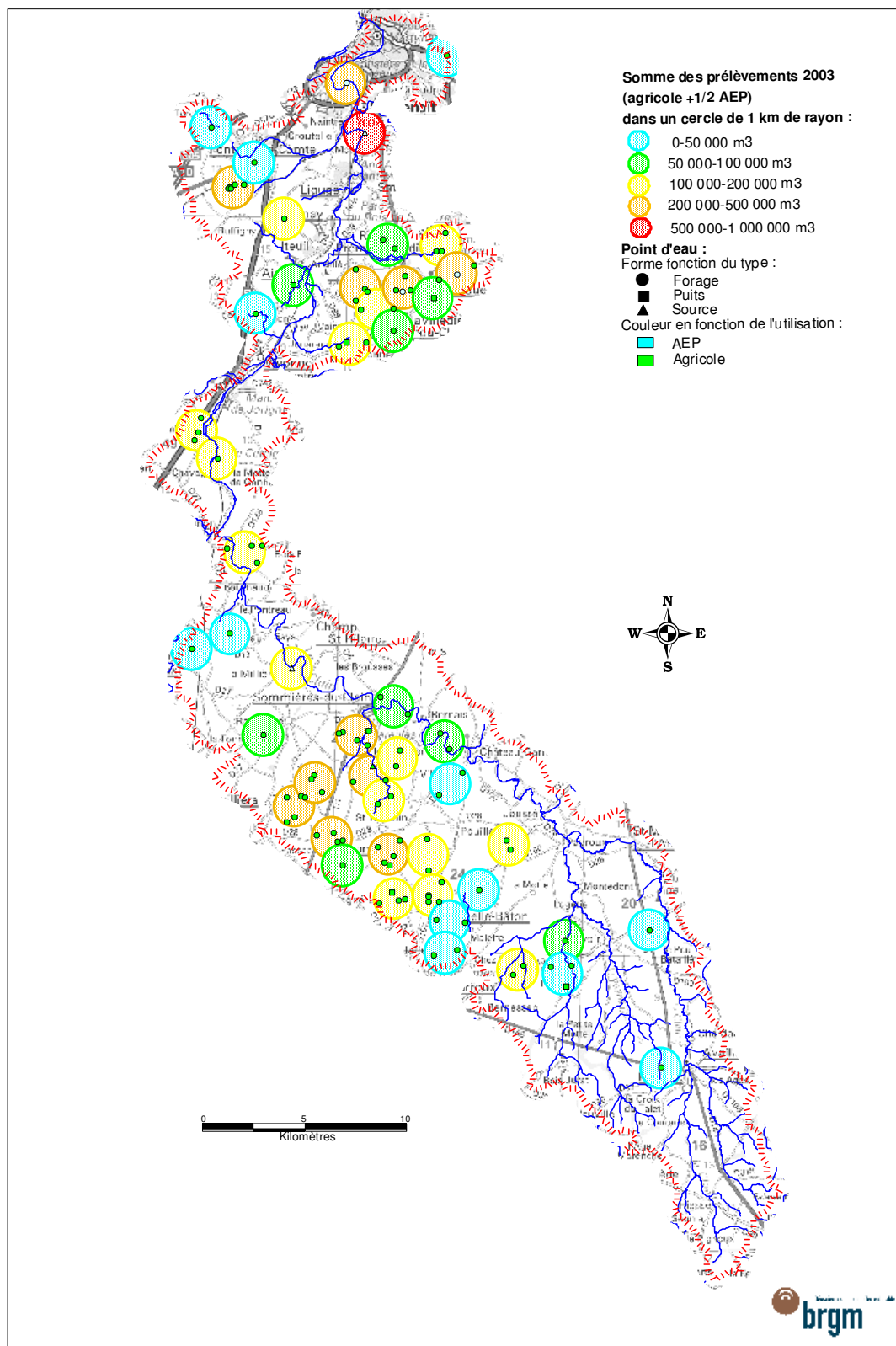


illustration 95 : Densité des prélèvements pour l'unité de gestion Clain amont et moyen

4.2.7 Sous-bassin de la Clouère / Miosson / Sarzec

Analyse des chroniques piézométriques

Ce sous bassin versant intègre les cours d'eau en rive droite du Clain : la Clouère, le Miosson et, au Nord, le bassin d'alimentation des sources de Sarzec. Ce domaine correspond à des plateaux calcaires karstiques du Dogger, à couverture plus ou moins épaisse d'altérites sablo-argileuses voire de Tertiaire, et entaillés par les cours d'eau parfois jusqu'aux marnes du Toarcien. Dans le karst, les nombreuses piézométries disponibles montrent une limite souterraine bien différente de la limite topographique entre les bassins versants du Clain et de la Vienne. Le bassin souterrain de cette dernière s'étend nettement à l'intérieur du bassin topographique du Clain. Même si la limite demeure assez imprécise, la délimitation des unités de gestion tient compte de ce phénomène.

Dans ce bassin versant, il existe un certain nombre de piézomètres :

- à la nappe du Dogger, Ferrière_Airoux, non retenu car abandonné, La Charprée, non retenu car chronique courte et incomplète, Petit-Dauffard dans le bassin de la Clouère. Le piézomètre de Sarzec (Dogger) géré par la CAP, seule référence hydrogéologique dans le secteur nord,
- à la nappe de l'Infra-Toarcien, Fontjoise non retenu car chronique trop courte..

La modélisation de Petit-Dauffard, piézomètre (Dogger) situé entre la Clouère et la Belle, a nécessité l'introduction d'une tendance pour intégrer l'évolution des prélèvements plus faibles entre 2000 et 2002. La chronique est en effet très courte et la nappe au niveau du piézomètre montre une certaine inertie (pic impulsif au bout de 4 mois et retour à l'état initial au bout de plus d'un an) qui peut s'expliquer par l'existence au-dessus du Dogger d'un recouvrement sablo-argileux qui amortit l'effet des pluies (retard d'alimentation et stockage temporaire).

De part et d'autre du piézomètre, les rivières Clouère et Belle sont à peu près à la cote 110 m NGF. Pour maintenir un écoulement de la nappe vers les cours d'eau, il convient donc de placer des seuils de gestion supérieurs à cette cote.

Très influencé par les pompages sur le champ captant (AEP), le piézomètre de Sarzec a été difficile à modéliser et le calage du modèle sur la chronique est loin d'être satisfaisant. Il présente un comportement très atypique par rapport aux autres piézomètres analysés, avec une composante assez rapide, (avec toutefois un pic impulsif au bout de 6 mois), et une composante très lente prépondérante avec un pic autour de 2/3 ans et un retour très long à l'état initial. L'existence d'épais placages sablo-argileux tertiaires dans le bassin versant peut expliquer ce comportement très singulier (retard d'alimentation de la nappe du Dogger du fait du stockage d'eau dans les faciès sableux).

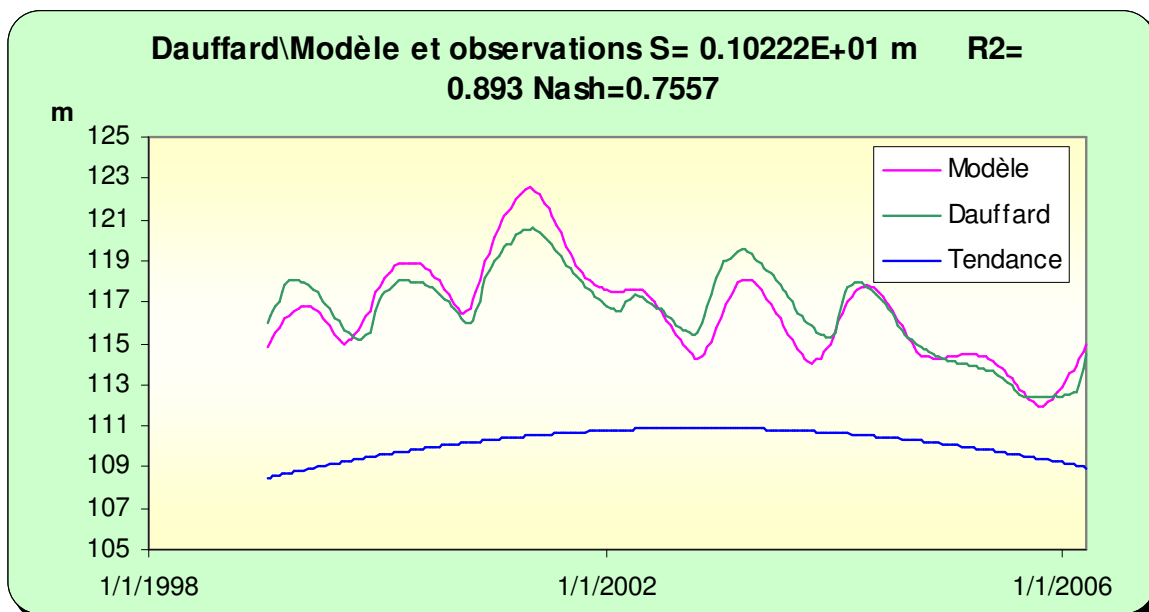


illustration 96 : Modélisation du piézomètre de Petit-Dauffard

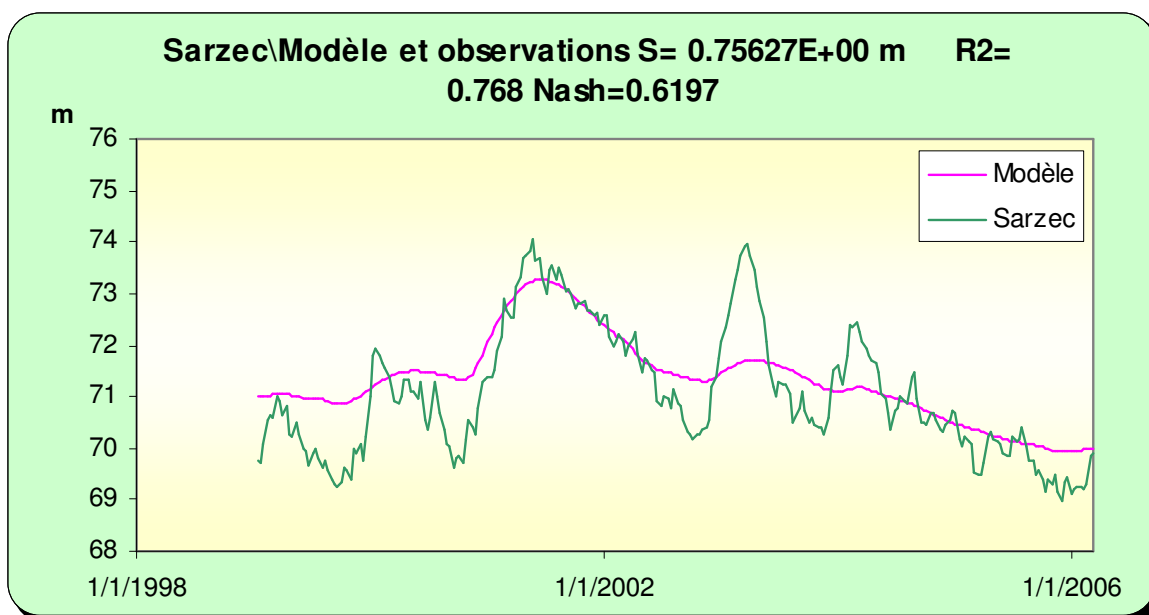


illustration 97 : Modélisation du piézomètre de Sarzec

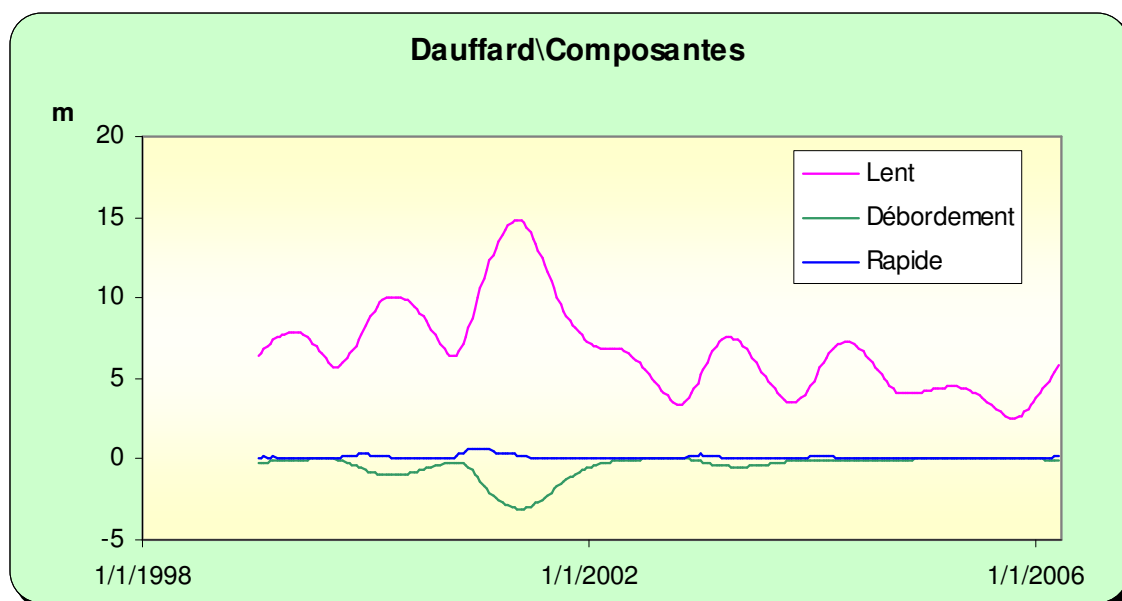


illustration 98 : Parts des différentes composantes de la chronique de Petit-Dauffard modélisée

Recherche d'indicateurs de gestion

Le modèle de Petit-Dauffard a été introduit en entrée pour modéliser le débit à la station de Château-Larcher, à l'aval sur la Clouère.

Le calage est assez correct mis à part en période de crue où les pics sont assez mal reconstitués du fait des phénomènes de débordement de nappe constatés sur les piézomètres. L'analyse des composantes fait apparaître une contribution significative de la nappe de Petit-Dauffard (Dogger) en période d'étiage. Les autres composantes matérialisent les ruissellements dans le bassin versant ainsi que les apports des autres nappes. Le pic des apports de la nappe de Petit-Dauffard correspond à peu près à 10 j.

Sur la Clouère à Château-Larcher les débits de gestion ont été fixés à $0.69 \text{ m}^3/\text{s}$ pour le DOE et à 0.391 pour le DCR. Selon le modèle, le DOE ne serait pas respecté, sans pompes saisonnières, 1 année sur 2 et le DCR une année sur 5. La courbe 5 ans secs donne en réalité une valeur un peu inférieure au DCR, soit $0.34 \text{ m}^3/\text{s}$.

La comparaison des courbes théoriques (ill. 103) avec les chroniques montre que cette analyse statistique est à peu près respectée pour le cours d'eau. Les prélèvements saisonniers se marquent par une avancée dans le temps des étiages de la Clouère.

L'année 2005 apparaît particulièrement exceptionnelle sur le graphe du piézomètre de Petit-Dauffard (ill. 105), avec une période de retour située autour de 50 ans, voire davantage.

Le tableau ci-dessous met en corrélation mois par mois les niveaux à Petit-Dauffard, avec les débits théoriques (lissés sur 10 jours) sur la Clouère, pour une évolution vers le DOE et le DCR.

Petit-Dauffard apparaît représentatif de l'état de la ressource souterraine et bien corrélé avec le débit de la Clouère ce qui conduit à le proposer comme indicateur de gestion de cette zone. Au nord, le bassin d'alimentation de Sarzec peut être individualisé mais l'absence d'indicateur réellement fiable nous amène pour l'instant à l'intégrer dans cette zone de gestion.

CLOUERE MIOSSON SARZEC	Période de retour 1 année sur 2 (DOE)		Période de retour 5 ans secs (DCR)	
	Petit- Dauffard en m NGF	Château- Larcher en m ³ /s	Petit- Dauffard en m NGF	Château- Larcher en m ³ /s
01-mars	117.4	3.6	116	2.3
01-avr	118	2.7	117	1.6
01-mai	117.8	2.2	116.5	1.4
01-juin	117.6	1.7	116.3	0.9
01-juil	117.1	1.2	116	0.7
01-août	116.4	0.8	115.3	0.5
01-sept	115.6	0.65	114.6	0.34
01-oct	115.1	0.9	114.1	0.4

illustration 99 : Evolution théorique des niveaux sur le piézomètre de Petit-Dauffard et des débits sur la station de Château-Larcher pour les périodes de retour 1 année sur 2 (proche du DOE) et 5 ans secs (proche du DCR).

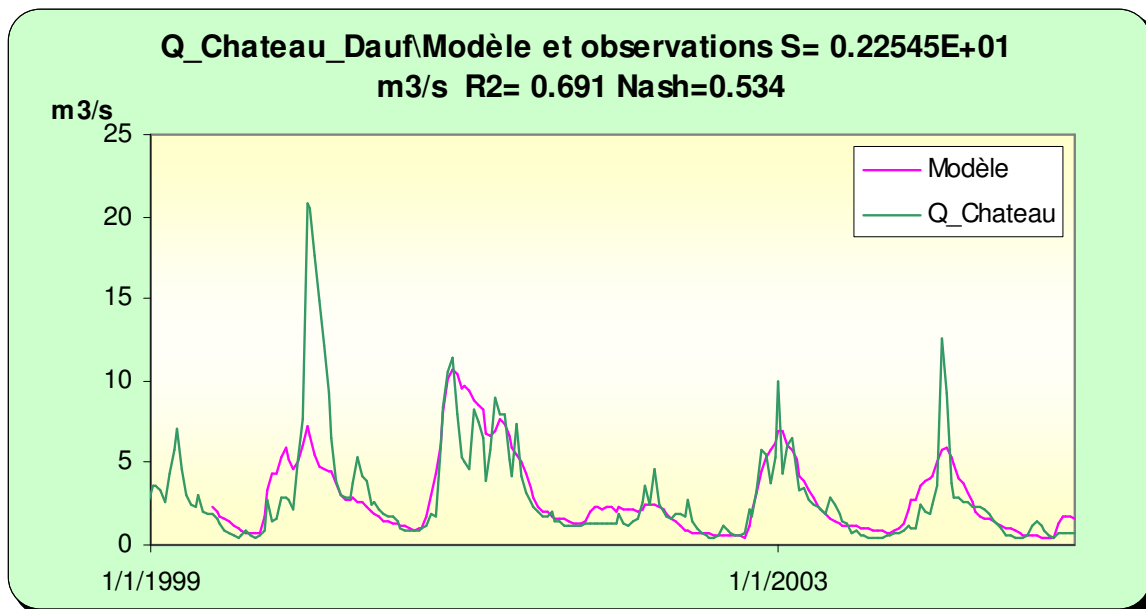


illustration 100 : Modélisation du débit de la Clouère à Château-Larcher avec en entrée le modèle du piézomètre de Petit-Dauffard

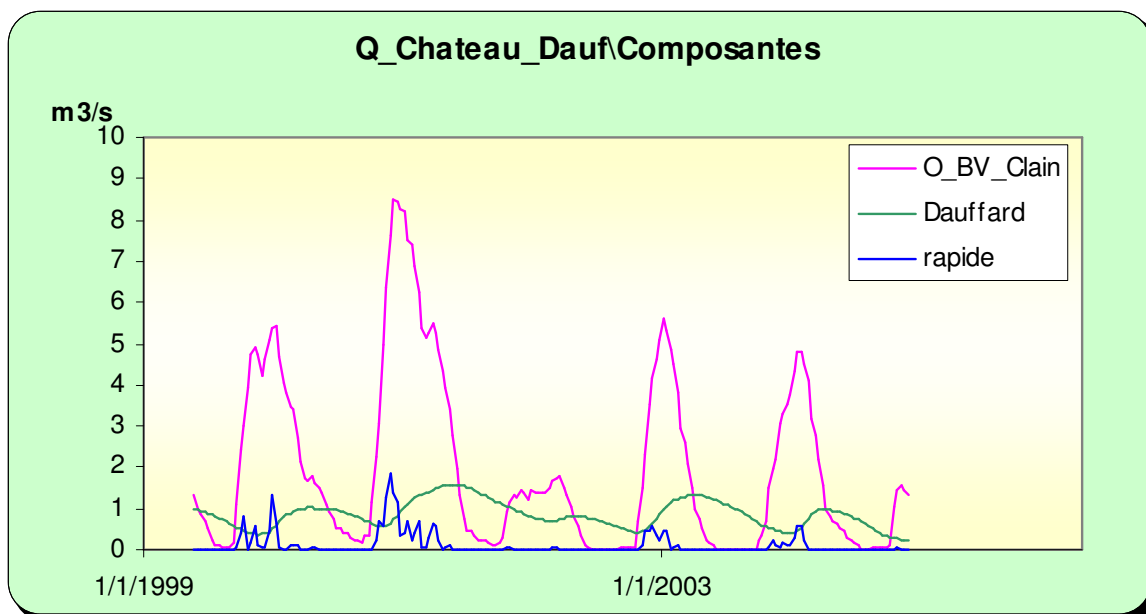


illustration 101 : Composante de débit de la Clouère à Château Larcher

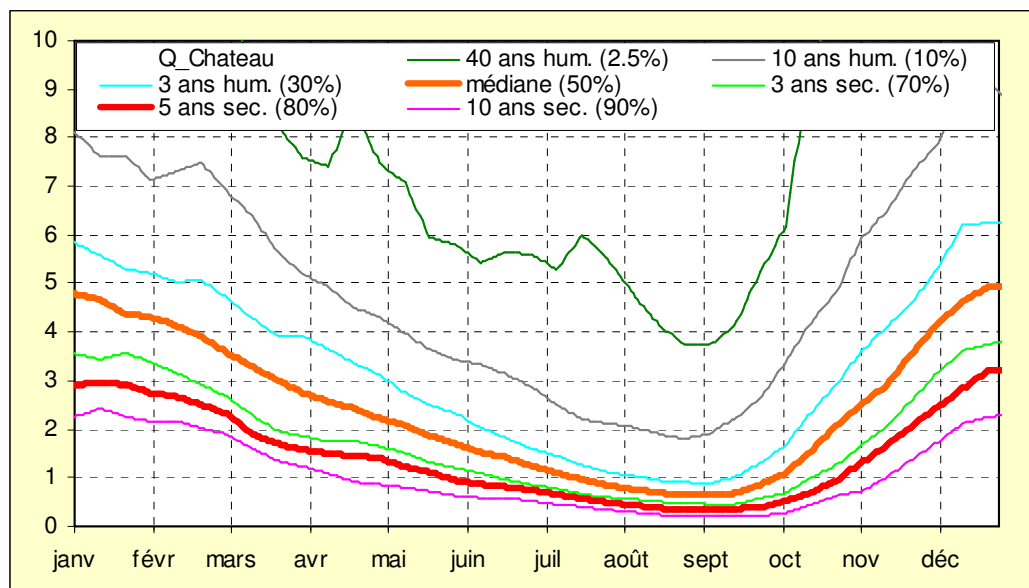


illustration 102 : Valeurs par pas de temps des débits calculés (en m^3/s) pour différentes périodes de retour (simulations non conditionnelles) pour la station de Château Larcher

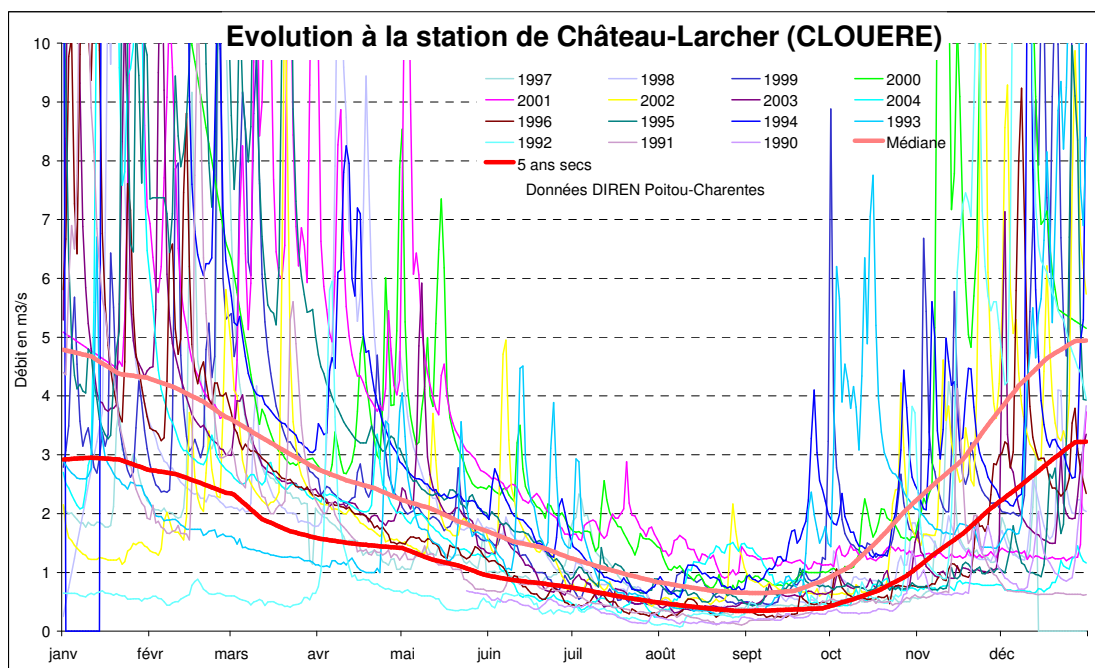


illustration 103 : Comparaison des courbes théoriques DOE (médiane) et DCR (5 ans secs) avec la chronique de mesures (en m NGF).

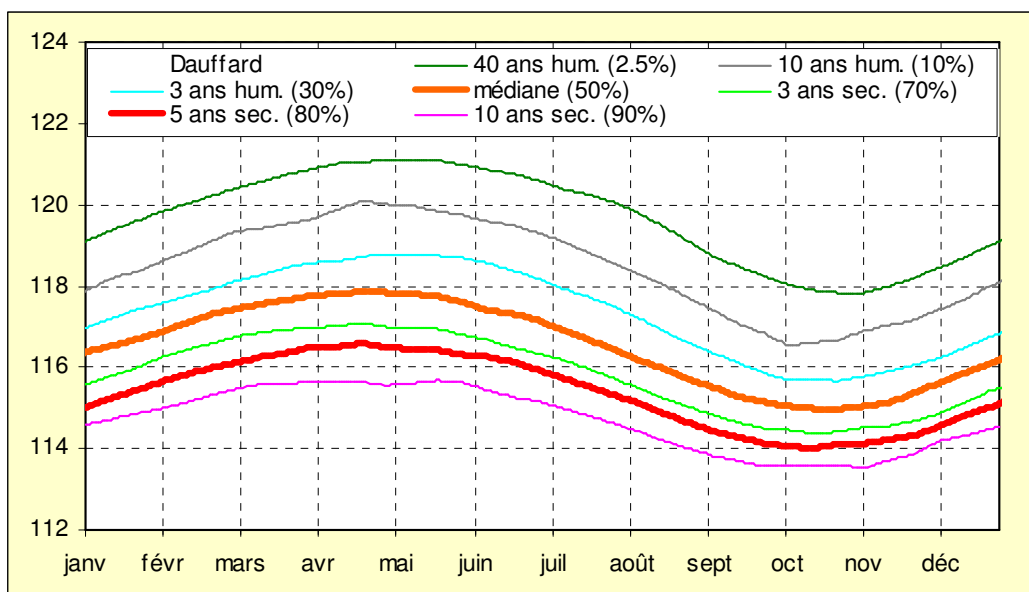


illustration 104 : Valeurs par pas de temps des niveaux calculés (en m NGF) pour différentes périodes de retour (simulations non conditionnelles) pour le piézomètre de Petit-Dauffard

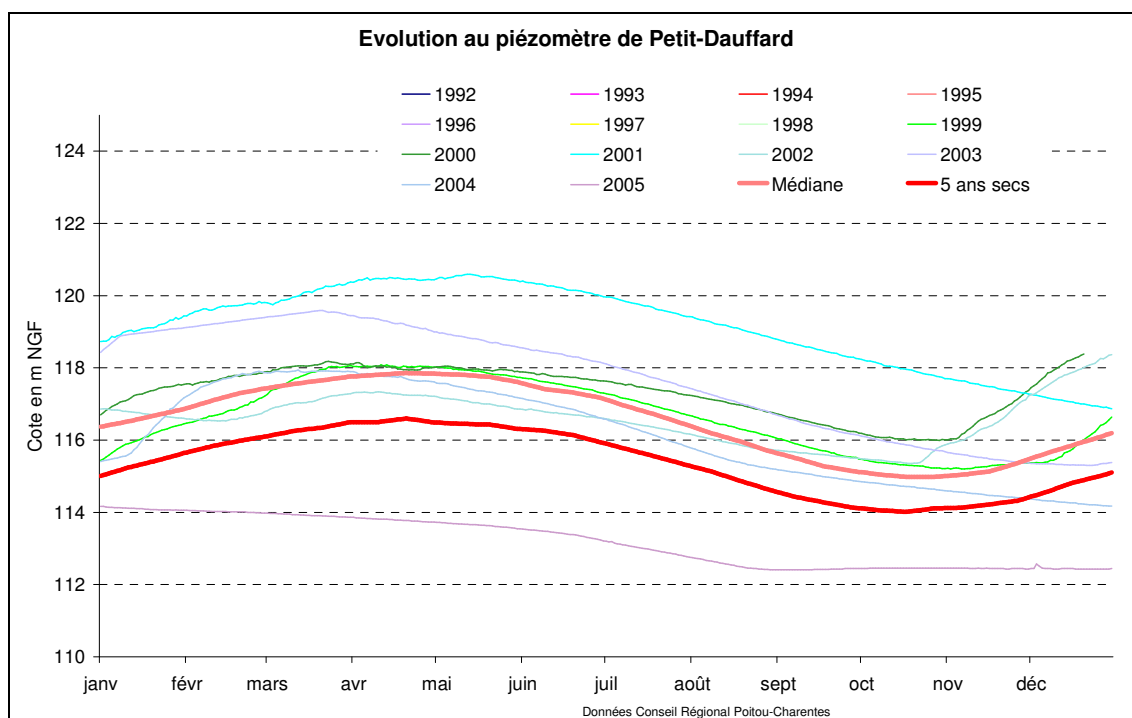


illustration 105 : Comparaison des courbes théoriques DOE (médiane) et DCR (5 ans secs) avec la chronique de mesures (en m NGF).

Approche des volumes disponibles

Le modèle restitue les volumes disponibles sur le bassin de la Clouère, transposés par règle de 3 sur la totalité de la zone de gestion (370 km² pour le bassin versant de Château-Larcher pour 652 km² pour la zone), en fonction de différentes situations années sèches et humides. Les volumes prélevés ces dernières années pour l'agriculture (fichiers DDAF) et pour l'AEP (fichiers agences de l'eau et syndicats des eaux) sont également donnés à titre indicatif.

Il en ressort que pour ne pas descendre au-dessous du DOE, des économies sur les prélèvements saisonniers sont à faire 2 années sur 3, et pour respecter le débit de crise, 1 année sur 3.

	CLOUERE MIOSSON SARZEC	PETIT-DAUFFARD (m NGF)		CHÂTEAU- LARCHER (m ³ /s)		Volume disponible par rapport DOE (Mm ³)		Volume disponible par rapport DCR (Mm ³)	
		1er Mars	1er Avril	1er Mars	1er Avril	BV Château- Larcher	BV Clouère Miosson Sarzec	BV Château- Larcher	BV Clouère Miosson Sarzec
Résultats de la modélisation des chroniques	40 années humides (2.5 %)	120.4	120.9	10.7	7.6	25	44	28	49
	10 années humides (10 %)	119.3	119.6	7	5.2	9	16	11	19
	3 années humides (30 %)	118.1	118.6	4.7	3.9	2	4	7	12
	Médiane (50%)	117.4	117.8	3.6	2.7	0	0	4	7
	3 années sèches (70 %)	116.7	117	2.7	1.8	-3	-5	2	4
	5 années sèches (80 %)	116.1	116.5	2.33	1.6	-5	-9	0	0
	10 années sèches (90 %)	115.4	115.6	2	1.2	-7	-12	-2	-4

Prélèvements agricoles - CLOUERE MIOSSON SARZEC (m ³)	2000								4 675 987
	2001								5 198 762
	2002								5 014 822
	2003								7 833 728
	2004								6 888 326
Prélèvements AEP - CLOUERE MIOSSON SARZEC (m ³)	2000								5 814 628
	2001								5 594 705
	2002								5 621 242
	2003								4 168 075
	2004								?
Moyenne des prélèvements (m ³)	Agricole								5 922 325
	AEP								5 299 663
	Agricole + 1/2AEP								8 572 156

illustration 106 : Volumes disponibles calculés pour la zone de gestion Clouère-Miosson-Sarzec à partir du modèle par rapport aux objectifs DOE et DCR ; historique des prélèvements agricoles et AEP

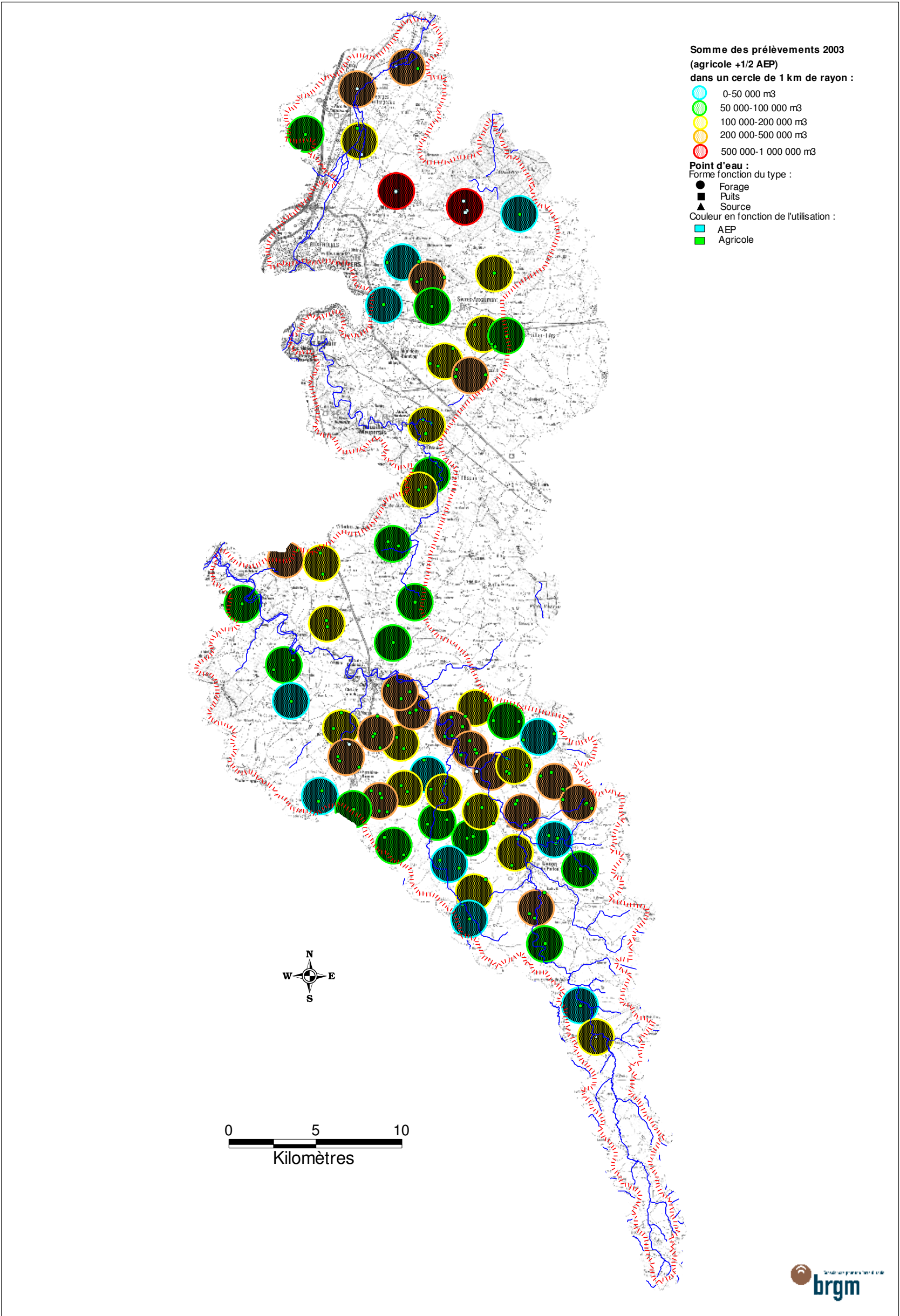


illustration 107 : Répartition de la densité des prélèvements dans la zone de gestion Clouère-Miosson-Sarzec

4.3 SYNTHÈSE

Le bassin du Clain est actuellement géré à partir d'un nombre important d'indicateurs piézométriques distinguant "première" et "seconde" nappe. La présente analyse et modélisation des chroniques piézométriques et hydrologiques conduit à proposer une gestion par grands sous bassins versants du Clain, toutes nappes confondues et en fonction des objectifs de débit sur les cours d'eau.

En premier lieu, l'analyse des chroniques montrent en effet des comportements similaires entre première et seconde nappe, même si l'inertie du système est un peu plus importante pour la nappe inférieure. Lorsque l'on dispose de chroniques au même point (Puzé, Couhé), les niveaux première et seconde nappe en hautes eaux sont très proches. En période de basses eaux, l'impact des pompages est nettement plus important sur la nappe inférieure.

Bien sûr ce constat est basé sur l'étude des chroniques piézométriques disponibles et suffisamment longues pour être modélisées. Ce constat est aussi à moduler en fonction des secteurs géographiques. Dans certaines zones la nappe de l'Infra-Toarcien montre une inertie assez forte (comme sur le piézomètre de Choué). Mais c'est aussi parfois le cas pour la nappe du Dogger.

En second lieu, la problématique rivière est plus forte pour la "première" nappe, mais la problématique AEP en revanche est plus importante pour la "seconde". En effet, sur une nappe captive difficilement renouvelée, l'impact des prélèvements est fort et la ressource tend à s'épuiser sur le long terme.

Enfin, la difficulté d'individualiser les prélèvements aux deux nappes, de nombreux ouvrages captant en effet première et seconde nappe, est un autre argument pour simplifier le système de gestion.

Les corrélations entre chroniques piézométriques et débit des cours d'eau sont bonnes. Les apports des nappes, la première comme la seconde, sont nettement prépondérants en été. En crue le calage des modèles des stations hydrologiques est moins satisfaisant du fait de la difficulté de prendre intégralement en compte les phénomènes de débordement de nappe observés sur la plupart des chroniques piézométriques.

Les modèles restituent des évolutions « pseudo-naturelles » des débits des cours d'eau dans la mesure où ils intègrent implicitement les prélèvements non saisonniers relativement constants (AEP) mais pas les prélèvements saisonniers (agricoles). L'impact de ces derniers peut donc être approché à travers cette modélisation et se concrétise par une avancée des étiages et une non atteinte plus fréquente des DOE et DCR. Globalement, ceux-ci ne seraient pas respectés (en conditions "naturelles") 2 années sur trois à 1 année sur trois pour les DOE, et une année sur 5 à une année sur 40 pour le DCR en fonction des sous bassins.

La modélisation donne des courbes théoriques débits/niveaux en fonction de période de retour correspondant au mieux aux objectifs de gestion. Ces courbes permettent, à partir d'une valeur piézométrique mesurée au printemps sur un piézomètre de référence, de prévoir le respect ou non respect des objectifs de gestion sur le débit de la rivière durant l'été. Des volumes disponibles, sont également estimés en fonction de ces périodes de retour.

Le bassin du Clain est caractérisé par un important domaine karstique (principalement le Dogger), formé de plateaux calcaires entaillés par des cours d'eau. Les limites du bassin du Clain et de ses sous bassins ne correspondent pas obligatoirement aux bassins topographiques. Ce travail fait le point sur l'état actuel des connaissances et propose des limites d'unités de gestion basées sur la piézométrie de la nappe du Dogger. Les écarts entre bassin topographique et bassin hydrogéologique sont importants au Sud (entre Vonne/Dive/Bouleure d'une part et Sèvre Niortaise et Charente d'autre part) et à l'Est, entre Clain et Vienne.

Ce travail fait aussi apparaître des spécificités pour chaque zone de gestion.

Au Nord le **bassin de la Pallu** présente une géologie assez singulière, par rapport au reste du bassin du Clain. Ce bassin comprend 3 entités hydrogéologiques principales :

- en rive gauche de la Pallu les nappes du Crétacé supérieur (principalement le Cénomanien), soutien principal du débit de la Pallu en été,
- en rive droite, la nappe du Jurassique supérieur, qui correspond à une zone superficielle (d'environ 20 m d'épaisseur) fissurée et altérée, en relation étroite avec les cours d'eau, sans grande réserve, venant au-dessus de la nappe du Dogger karstique. Les piézométries de ces deux nappes sont très proches et leur comportement assez similaires (cf. Puzé1 et 2). En été il est difficile de maintenir - même dans un état naturel non influencé par les prélèvements (d'où le nom de Champigny-le-sec) - de l'eau dans les cours d'eau au-dessus de Blaslay, là où les apports de la nappe du Cénomanien ne s'exercent plus. En étiage c'est même la rivière qui viendrait alimenter la nappe du jurassique (cf. piézomètre de Chabournay). En période de sécheresse exceptionnelle, comme en 2005, la quasi-totalité de la Pallu est à sec.

En l'absence d'objectif de débit sur la Pallu, il est proposé d'envisager une gestion par analogie avec le bassin voisin de la Dive, qui présente beaucoup de similitude avec celui de la Pallu. Le piézomètre de Puzé1 est proposé pour cette gestion avec éventuellement l'utilisation de seuils critiques sur Chabournay et sur Cuhon2.

En utilisant cette analogie avec la Dive du Nord, avec des prélèvements agricoles annuels autour de 5 Mm³ sur le bassin de la Pallu, des économies apparaissent nécessaires 4 années sur 5 pour respecter le DOE et 1 année sur 4 pour le DCR. En dehors de la gestion des prélèvements, et sur un plus long terme, la reconstitution de milieux humides en été dans ce bassin versant passe par son aménagement de

manière à freiner le départ des eaux, à l'inverse des politiques d'aménagement conduites sur ce bassin ces dernières décennies.

La gestion du **bassin de l'Auxance** à partir du seul piézomètre de Villiers est proposée. Le piézomètre des Lourdines, possède une réactivité trop rapide aux pluies pour être utilisé en gestion. Sur ce bassin versant, avec le maintien des prélèvements actuels (autour de 4 Mm³), le DOE à Quinçay ne peut être respecté que 2 années sur 3 et le DCR qu'une année sur 2.

En l'absence de piézomètre au Dogger, il est proposé pour la **Boivre** d'utiliser le piézomètre de l'Abbaye à l'Infra-Toarcien. Une autre solution serait de rattacher la Boivre au bassin de l'Auxance. Dans le bassin de la Boivre les objectifs de débit à la Ribalière sont rarement respectés, même en dehors de prélèvements saisonniers : 1 années sur 3 pour le DOE et une année sur 2 pour le DCR. Les prélèvements agricoles sont de l'ordre de 1.5 Mm³ par an pour plus de 5 Mm³ par an pour les prélèvements AEP. Au regard des objectifs ce bassin apparaît donc particulièrement déficitaire.

Le bassin de la **Vonne** est amputé d'une partie de son bassin versant topographique dont les eaux rejoignent le Pamproux et le bassin de la Sèvre Niortaise. Une gestion à partir du piézomètre de Cagnoche est proposée.

Le modèle restitue pour la rivière (Cloué) des courbes théoriques plus optimistes que ce qui est observé en réalité.

Le sous bassin de **la Dive et de la Bouleure** est amputé de la partie amont du bassin versant de la Dive du Sud dont les eaux rejoignent la Sèvre Niortaise à Exoudun. Du fait de ces phénomènes karstiques, avec échange entre bassins versants, le fonctionnement hydrologique de cette zone est complexe. Des modalités de gestion à partir du piézomètre de Couhé¹ sont proposées pour les nappes du Dogger et de l'Infra-Toarcien. Sur cette zone de gestion les prélèvements agricoles sont assez importants (avec plus de 4 Mm³ par an) et mal répartis. Le DOE ne serait pas respecter une année sur 3 environ et il conviendrait de faire d'importantes économies sur les prélèvements (environ 3 Mm³) pour que celui-ci soit respecté 4 années sur 5. Il est à noter que l'écart entre DOE et DCR est faible.

Sur le bassin **du Clain amont et moyen**, les piézomètres de St-Romain (les Renardières) au Dogger et des Saizines à l'Infra-Toarcien ont été analysés et modélisés. La comparaison des chroniques montrent des comportements assez similaires, ce qui conforte une gestion commune des 2 nappes. Une gestion de cette zone par le piézomètre de St-Romain est préconisée. En ce qui concerne le débit du Clain à Petit-Allier, des économies sur les prélèvements saisonniers sont nécessaires une année sur 2 pour rester au-dessus du DOE et une année sur 5 pour ne pas descendre sous le DCR. Il convient toutefois de souligner que le débit à Petit Allier intègre les débits de la Dive du Sud et de la Bouleure situées dans une autre zone de gestion. Un regroupement est là encore possible entre ces 2 zones de gestion.

Enfin, la **zone de gestion Clouère/Miosson/Sarzec** manque de piézomètres aux chroniques suffisamment longues pour être exploitées dans ce travail. Au Nord, le piézomètre de Sarzec montre un comportement atypique qu'il conviendrait d'étudier plus dans le détail. Il caractériserait une nappe à forte inertie avec des réponses impulsionnelles sur plusieurs années. Le mauvais calage du modèle conduit à ne pas le retenir en gestion. Le piézomètre de Petit-Dauffard a lui été retenu et proposé pour la gestion de ce vaste domaine karstique. Il présente un seuil critique autour de 110 m NGF (niveaux de la Belle et de la Clouère à préciser par un nivellement).

Il apparaît à travers la modélisation de la chronique de débit de la Clouère à Château-Larcher que les objectifs de gestion DOE et DCR sont assez ambitieux sur ce bassin, le DCR étant "naturellement" respecté qu'une année sur 5. Il en ressort aussi que des économies sur les prélèvements saisonniers sont à faire 2 années sur 3 pour respecter le DOE et une année sur 3 pour respecter le DCR.