Document public

Analyse des chroniques piézométriques et hydrologiques avec le logiciel TEMPO pour la gestion des prélèvements

Phase 2 : Bassin versant de la Charente

Rapport final

BRGM/RP-55485-FR
Décembre 2008

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de l'Aménagement du territoire

Géosciences pour une Terre durable
brgm

Document public

Analyse des chroniques piézométriques et hydrologiques avec le logiciel TEMPO pour la gestion des prélèvements

Phase 2 : Bassin versant de la Charente

Rapport final

BRGM/RP-55485-FR
Décembre 2008

Étude réalisée dans le cadre des opérations
de Service public du BRGM 06EAUB38

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

Vérificateur :	**Approbateur :**
Nom : J.J. Seguin	Nom : F. Bichot
Date : décembre 2008	Date : décembre 2008
Signature :	Signature **:**

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

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de l'Aménagement du territoire

Géosciences pour une Terre durable
brgm

Mots clés : indicateur piézométrique, analyse du signal, gestion volumétrique, bassin versant, Charente, irrigation, débit rivière.

En bibliographie, ce rapport sera cité de la façon suivante : Bichot F., Lavie J., Pinault JL., Thinon-Larminach M. – Analyse des chroniques piézométriques et hydrologiques avec le logiciel TEMPO pour la gestion des prélèvements Phase 2 : Bassin versant de la Charente, BRGM/RP-55485-FR, 260 p., 155 ill., 4 tab, 2 planches hors texte.

© BRGM, 2008, ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM.

Synthèse

Ce travail a été demandé par la DIREN au BRGM Poitou-Charentes afin d'une part d'analyser la pertinence des indicateurs de gestion et d'autre part d'évaluer les volumes disponibles en fonction des objectifs de débit des rivières.

Après avoir traité dans une première phase les bassins versants de la Dive du Nord, du Clain, de la Sèvre Niortaise, de la Boutonne et de la Seudre, le bassin versant de la Charente fait l'objet de cette deuxième phase.

Ce rapport présente en premier lieu la méthodologie utilisée, notamment avec le logiciel TEMPO d'analyse du signal. La géologie et l'hydrogéologie du bassin versant de la Charente sont ensuite décrites avant de faire la synthèse du travail de modélisation pour 45 stations piézométriques et 15 stations de débit. Le document est accompagné par 2 planches hors texte au format Aø.

Pour la plupart des stations de débit, des volumes statistiquement disponibles en fonction des objectifs (DOE et DOC) sont calculés à partir des modèles utilisés en prévision. Il en découle une critique des objectifs de débit qui apparaissent dans bien des cas soit trop ambitieux soit pas assez.

La synthèse de tous ces résultats conduit aussi à proposer le découpage du bassin versant de la Charente en 11 zones de gestion associant nappe et cours d'eau, auxquelles il faut ajouter les nappes profondes du Crétacé supérieur et le bassin versant de la Boutonne. Pour chaque zone, un (ou plusieurs) piézomètre est proposé.
Le travail de modélisation permet de mieux comprendre ce que mesure le piézomètre et en conséquence d'aider à la fixation des seuils d'objectif et de gestion de crise.

Cette approche scientifique, qui vise à mieux cerner les disponibilités de la ressource en eau, et les propositions de gestion qui en découlent, sont destinés à venir alimenter les réflexions des gestionnaires et utilisateurs.

Sommaire

1. Introduction 17

2. Méthodologie 19

2.1. FONCTIONNEMENT DE L'HYDROSYSTEME 19

2.2. FONCTIONALITES DU LOGICIEL TEMPO 20

2.3. LES DIFFERENTES ETAPES 24
2.3.1. Pondération des pluies 24
2.3.2. Calage des modèles 24
2.3.3. La boîte à outils TEMPO 31
2.3.4. Utilisation des modèles en prévision 34
2.3.5. Calcul des volumes disponibles 36
2.3.6. Comparaison des volumes disponibles aux volumes prélevés 38
2.3.7. Utilisation des modèles pour la gestion 39

3. Contextes géologique et hydrogéologique 41

4. Synthèse de la modélisation 63

4.1 LA CHARENTE AMONT (DE PONT DE SURIS A VINDELLE) 63
4.1.1. Analyse des chroniques piézométriques 63
4.1.2. Analyse des chroniques de débit 139

4.2 LA CHARENTE AVAL (DE VINDELLE A LA MER) 178
4.2.1. Analyse des chroniques piézométriques 178
4.2.2. Analyse des chroniques de débit 232

5. Approche sur les volumes disponibles 247

6. Réflexion pour la gestion des prélèvements 255

6.1 PREAMBULE 255

6.2 LES PRINCIPES 255
6.2.1 Découpage en zones de gestion 255
6.2.2 Modalités de gestion 256

6.3 LES ZONES DE GESTION 257

7. Conclusion 269

Liste des Illustrations

Illustration 1 : Schéma de l'hydrosystème 19

Illustration 2 : Principe d'un modèle simple pluie/niveau à réponse impulsionnelle 21

Illustration 3 : Principe d'un modèle « simple » pluie/niveau/débit à réponse impulsionnelle 22

Illustration 4 : Principe d'un modèle "pluie-niveau" avec prise en compte des pompages et un seuil de débordement 22

Illustration 5 : Exemple d'une chronique du bassin du Clain présentant un débordement (modèle avant introduction d'un seuil haut) 26

Illustration 6 : Exemple d'un soutien d'étiage de la nappe par la rivière sur le bassin du Clain (il est à remarquer qu'en 2005 la rivière à sec n'a pu soutenir la nappe qui s'est effondrée sous le seuil). 26

Illustration 7 : Exemple d'un soutien de la nappe par la rivière au printemps/début d'été sur un piézomètre du bassin aval de la Sèvre Niortaise. 27

Illustration 8 : Exemple d'impact des pompages sur une chronique piézométrique du bassin du Clain. 27

Illustration 9 : Exemple de fonction « Peigne » introduite. 28

Illustration 10 : Mise en évidence d'un contraste de transmissivité, nappe du Jurassique supérieur de la Boutonne. 28

Illustration 11 : Soutien de la nappe par des lâchers de barrage. 29

Illustration 12 : Introduction d'une tendance sur un piézomètre du bassin de la Charente. 29

Illustration 13 : Mise en évidence de pertes karstiques de la rivière en amont de la station (bassin de la Seudre). 30

Illustration 14 : Impact des pompages par comparaison du modèle et de la chronique de débit à l'étiage sur une station du bassin de la Sèvre Niortaise. 31

Illustration 15 : Schéma illustrant les 2 grands types de réponse à une pluie dans des formations sédimentaires 32

Illustration 16 : analyse impulsionnelle sur la composante lente : paramètres utilisés pour caractériser l'inertie du système. 33

Illustration 17 : Comparaison chronique de mesures de débit et courbes théoriques sur le sous-bassin de la Boivre particulièrement impacté par les prélèvements AEP. 35

Illustration 18 : Comparaison des courbes théoriques des niveaux avec la chronique de mesures sur un des piézomètres du bassin du Clain. 36

Illustration 19 : Principe de calcul du volume disponible : 37

Illustration 20 : Exemple d'utilisation d'un modèle de piézomètre en gestion : dans le cas présent le même niveau piézométrique descendra sous 10 m NGF durant l'été sauf en cas de forte pluviométrie (à partir de 10 ans humides). 39

Illustration 21 : Coupe géologique à travers la partie amont du bassin versant de la Charente 43

Illustration 22 : Carte géologique du bassin versant de la Charente (géologie sur la partie en Poitou-Charentes uniquement) 45

Illustration 23 : Bassin versant de la Charente sur Modèle Numérique de Terrain (IGN) traité 47

Illustration 24 : Bloc-diagramme de la partie amont de la Charente avec positionnement des stations hydrométriques. 49

Illustration 25 : Schéma illustrant les nappes d'altération du socle. 50

Illustration 26 : Schéma illustrant l'écoulement de la Charente sur les marnes toarciennes et de part et d'autre la nappe karstique du Dogger sous sa couverture d'altérites. 51

Illustration 27 : Schéma illustrant la nappe de la frange superficielle d'altération et de fissuration du Jurassique supérieur calcaréo-marneux. 53

Illustration 28 : Coupe géologique à travers le karst de la Rochefoucauld 55

Illustration 29 : Coupe géologique à travers le synclinal de Saintes et l'anticlinal de Jonzac 59

Illustration 30 : Bassin versant de la Charente avec position des stations hydrométriques et piézométriques 61

Illustration 31 : Modélisation du piézomètre d'Alloue (Infra-Toarcien), de haut en bas : superposition du modèle sur la chronique avec introduction d'une tendance, les différentes composantes, analyse impulsionnelle montrant la composante lente. 65

Illustration 32 : Utilisation du modèle du piézomètre d'Alloue en prévision : en haut courbes non influencé par les pompages (en m NGF) avec période de retour, en bas superposition des courbes médiane et 5 ans secs sur les chroniques. 66

Illustration 33 : Modélisation du piézomètre de Lemaire (Infra-Toarcien), de haut en bas : superposition du modèle sur la chronique, les différentes composantes, analyse impulsionnelle montrant la composante lente. 68

Illustration 34 : Utilisation du modèle du piézomètre de Lemaire en prévision : en haut courbes non influencé par les pompages avec période de retour, en bas superposition des courbes médiane et 5 ans secs sur les chroniques annuelles. 69

Illustration 35 : Modélisation du piézomètre de Limalonges (Dogger), de haut en bas : superposition du modèle sur la chronique, les différentes composantes, analyse impulsionnelle montrant les composantes lente et rapide. 71

Illustration 36 : Utilisation du modèle du piézomètre de Limalonges en prévision : en haut courbes non influencé par les pompages avec période de retour, en bas superposition des courbes médiane, 5 et 20 ans secs sur les chroniques annuelles. 72

Illustration 37 : Modélisation du piézomètre de Sauze (Dogger), de haut en bas : superposition du modèle sur la chronique, les différentes composantes, analyse impulsionnelle montrant les composantes lente et rapide. 74

Illustration 38 : Utilisation du modèle du piézomètre de Sauze en prévision : en haut courbes non influencé par les pompages avec période de retour, en bas superposition des courbes médiane, 5 et 20 ans secs sur les chroniques annuelles. 75

Illustration 39 : Modélisation du piézomètre de Ruffec (Dogger), de haut en bas : superposition du modèle sur la chronique, les différentes composantes, analyse impulsionnelle de la composante lente. 77

Illustration 40 : Utilisation du modèle du piézomètre de Ruffec en prévision : en haut courbes non influencé par les pompages avec période de retour, en bas superposition des courbes médiane, 5 et 20 ans secs sur les chroniques annuelles. 78

Illustration 41 : Modélisation du piézomètre de Condac (Dogger), de haut en bas : superposition du modèle sur la chronique, les différentes composantes, analyse impulsionnelle de la composante lente..... 80

Illustration 42 : Modélisation du piézomètre de Lorigne1 (Dogger), de haut en bas : superposition du modèle sur la chronique, les différentes composantes, analyse impulsionnelle de la composante lente..... 82

Illustration 43 : Utilisation du modèle du piézomètre de Lorigne1 en prévision : en haut courbes non influencé par les pompages avec période de retour, en bas superposition des courbes médiane, 5 et 20 ans secs sur les chroniques annuelles. 83

Illustration 44 : Comparaison des chroniques des piézomètres de Lorigné : en bleu : Dogger, en violet : Infra-Toarcien, en vert : Dogger abaissé de 4 m. 84

Illustration 45 : Modélisation du piézomètre de Lorigne2 (Infra-Toarcien), de haut en bas : superposition du modèle sur la chronique, les différentes composantes, analyse impulsionnelle de la composante lente..... 85

Illustration 46 : Utilisation du modèle du piézomètre de Lorigne1 en prévision : en haut courbes non influencé par les pompages avec période de retour, en bas superposition des courbes médiane, 5 et 20 ans secs sur les chroniques annuelles. 86

Illustration 47 : Modélisation du piézomètre de Salles-de-Villefagnan (Dogger), de haut en bas : superposition du modèle sur la chronique, les différentes composantes, analyse impulsionnelle des composantes. 88

Illustration 48 : Utilisation du modèle du piézomètre de Salles en prévision : en haut courbes non influencé par les pompages avec période de retour, en bas superposition des courbes médiane, 5 et 20 ans secs sur les chroniques annuelles. 89

Illustration 49 : Modélisation du piézomètre de Mouton (Infra-Toarcien), de haut en bas : superposition du modèle sur la chronique, les différentes composantes, analyse impulsionnelle de la composante lente..... 91

Illustration 50 : Utilisation du modèle du piézomètre de Mouton en prévision : en haut courbes non influencé par les pompages avec période de retour, en bas superposition des courbes médiane, 5 et 20 ans secs sur les chroniques annuelles. 92

Illustration 51 : Modélisation du piézomètre de Bellicou (Dogger), de haut en bas : superposition du modèle sur la chronique, les différentes composantes, analyse impulsionnelle des composantes lente et rapide..... 94

Illustration 52 : Utilisation du modèle du piézomètre de Bellicou en prévision : en haut courbes non influencé par les pompages avec période de retour, en bas superposition des courbes médiane et 5 ans secs sur les chroniques annuelles. 95

Illustration 53 : Modélisation du piézomètre de Longré (Jurassique supérieur), de haut en bas : superposition du modèle sur la chronique, les différentes composantes, analyse impulsionnelle des composantes lente et rapide 97

Illustration 54 : Utilisation du modèle du piézomètre de Longré en prévision : en haut courbes non influencé par les pompages avec période de retour, en bas superposition des courbes médianes, 5 et 20 ans secs sur les chroniques annuelles. 98

Illustration 55 : Modélisation du piézomètre de St-Fraigne (Jurassique supérieur), de haut en bas : superposition du modèle sur la chronique, les différentes composantes, analyse impulsionnelle de la composante lente. 100

Illustration 56 : Utilisation du modèle du piézomètre de St-Fraigne en prévision : en haut courbes non influencé par les pompages avec période de retour, en bas superposition des courbes médiane, 5 et 20 ans secs sur les chroniques annuelles. 101

Illustration 57 : Modélisation du piézomètre de St-Fraigne (Jurassique supérieur), de haut en bas : superposition du modèle sur la chronique, les différentes composantes, analyse impulsionnelle de la composante lente. 103

Illustration 58 : Utilisation du modèle du piézomètre de Villiers-Couture en prévision : en haut courbes non influencé par les pompages avec période de retour, en bas superposition des courbes médiane, 5 et 20 ans secs sur les chroniques annuelles. 104

Illustration 59 : Modélisation du piézomètre de d'Aigre (Jurassique supérieur), de haut en bas : superposition du modèle sur la chronique, les différentes composantes, analyse impulsionnelle de la composante lente. 106

Illustration 60 : Utilisation du modèle du piézomètre d'Aigre en prévision : en haut courbes non influencé par les pompages avec période de retour, en bas superposition des courbes médiane et 5 ans secs sur les chroniques annuelles. 107

Illustration 61 : Modélisation du piézomètre de Montigné (Jurassique supérieur), de haut en bas : superposition du modèle sur la chronique, les différentes composantes, analyse impulsionnelle des composantes. 109

Illustration 62 : Utilisation du modèle du piézomètre de Montigné en prévision : courbes non influencé par les pompages avec période de retour. 110

Illustration 63 : Modélisation du piézomètre de Vouillac (Jurassique supérieur), de haut en bas : superposition du modèle sur la chronique, les différentes composantes, analyse impulsionnelle des composantes. 112

Illustration 64 : Utilisation du modèle du piézomètre de Vouillac en prévision : en haut courbes non influencé par les pompages avec période de retour, en bas superposition des courbes médiane, 5 et 20 ans secs sur les chroniques annuelles. 113

Illustration 65 : Comparaison des chroniques des piézomètres de Feuillade1 (Dogger) et de Feuillade2 (Infra-Toarcien). 114

Illustration 66 : Agrandissement de la chronique de la Feuillade2 (Infra-Toarcien) non modélisée. 115

Illustration 67 : Modélisation du piézomètre de la Feuillade1 (Dogger), de haut en bas : superposition du modèle sur la chronique, analyse impulsionnelle de la composante lente. 116

Illustration 68 : Utilisation du modèle du piézomètre de Feuillade1 en prévision : en haut courbes non influencé par les pompages avec période de retour, en bas superposition des courbes médiane, 5 et 20 ans secs sur les chroniques annuelles. 117

Illustration 69 : Modélisation du piézomètre de Chazelles (Dogger), de haut en bas : superposition du modèle sur la chronique, les différentes composantes, analyse impulsionnelle de la composante lente. 119

Illustration 70 : Utilisation du modèle du piézomètre de Chazelles en prévision : en haut courbes non influencé par les pompages avec période de retour, en bas superposition des courbes médiane et 5 ans secs sur les chroniques annuelles. 120

Illustration 71 : Modélisation du piézomètre de St-Projet (Dogger), de haut en bas : superposition du modèle sur la chronique, les différentes composantes, analyse impulsionnelle des composantes lente et rapide. 122

Illustration 72 : Utilisation du modèle du piézomètre de St-Projet en prévision : en haut courbes non influencé par les pompages avec période de retour, en bas superposition des courbes médiane, 5 et 20 ans secs sur les chroniques annuelles. 123

Illustration 73 : Modélisation du piézomètre de La Rochefoucauld (Dogger), de haut en bas : superposition du modèle sur la chronique, les différentes composantes, analyse impulsionnelle des composantes lente et rapide. 125

Illustration 74 : Utilisation du modèle du piézomètre de La Rochefoucauld en prévision : en haut courbes non influencé par les pompages avec période de retour, en bas superposition des courbes médiane, 5 et 20 ans secs sur les chroniques annuelles. 126

Illustration 75 : Modélisation du piézomètre de Bouex (Dogger), de haut en bas : superposition du modèle sur la chronique, les différentes composantes, analyse impulsionnelle des composantes lente et rapide. 128

Illustration 76 : Utilisation du modèle du piézomètre de Bouex en prévision : en haut courbes non influencé par les pompages avec période de retour, en bas superposition des courbes médiane, 5 et 20 ans secs sur les chroniques annuelles. 129

Illustration 77 : Modélisation du piézomètre de Mornac , de haut en bas : superposition du modèle sur la chronique, les différentes composantes, analyse impulsionnelle des composantes lente et rapide. 131

Illustration 78 : Utilisation du modèle du piézomètre de Mornac en prévision : en haut courbes non influencé par les pompages avec période de retour, en bas superposition des courbes médiane, 5 ans secs sur les chroniques annuelles. 132

Illustration 79 : Modélisation du piézomètre d'Agris (Dogger), de haut en bas : superposition du modèle sur la chronique, les différentes composantes, analyse impulsionnelle de la composante lente. 134

Illustration 80 : Utilisation du modèle du piézomètre d'Agris en prévision : en haut courbes non influencé par les pompages avec période de retour, en bas superposition des courbes médiane, 5 et 20 ans secs sur les chroniques annuelles. 135

Illustration 81 : Modélisation du piézomètre d'Amant (Dogger), de haut en bas : superposition du modèle sur la chronique, les différentes composantes, analyse impulsionnelle des composantes lente et rapide. 137

Illustration 82 : Utilisation du modèle du piézomètre d'Amant en prévision : en haut courbes non influencé par les pompages avec période de retour, en bas superposition des courbes médiane, 5 et 20 ans secs sur les chroniques annuelles. 138

Illustration 83 : Modélisation de la station de Pont-de-Suris de haut en bas : superposition du modèle sur la chronique, les différentes composantes, analyse impulsionnelle des composantes. 140

Illustration 84 : Comparaison des graphes de débits de Pont-de-Suris et de Charroux (en bas agrandissement sur les plus faibles débits). 143

Illustration 85 : Modélisation de la station de Charroux avec en entrée le piézomètre d'Alloue et les lâchers, de haut en bas : superposition du modèle sur la chronique, les différentes composantes, l'analyse des composantes. 144

Illustration 86 : Utilisation du modèle de la station de Charroux en prévision : en haut courbes théoriques avec période de retour, en bas superposition des courbes médiane et 5 ans secs sur les chroniques annuelles. 145

Illustration 87 : Comparaison entre les débits à St-Saviol et les débits à Charroux, agrandissement sur les faibles débits : périodes 1999-2003 en haut, 2005-2007 en bas. 148

Illustration 88 : Modélisation de la station de St-Saviol de haut en bas : superposition du modèle sur la chronique, les différentes composantes, analyse impulsionnelle des composantes 149

Illustration 89 : Utilisation du modèle de la station de St-Saviol en prévision : en haut courbes théoriques avec période de retour, en bas superposition des courbes médiane, 5 et 20 ans secs sur les chroniques annuelles. 150

Illustration 90 : Modélisation de la station d'Aunac de haut en bas : superposition du modèle sur la chronique, les différentes composantes, analyse impulsionnelle des composantes. 152

Illustration 91 : Utilisation du modèle de la station d'Aunac en prévision : en haut courbes théoriques avec période de retour, en bas superposition des courbes médiane, 5 et 20 ans secs sur les chroniques annuelles (agrandissement sur périodes d'étiage). 153

Illustration 92 : Comparaison des débits aux stations de St-Saviol et de luxé. 154

Illustration 93 : Modélisation de la station de Luxé de haut en bas : superposition du modèle sur la chronique, les différentes composantes, analyse impulsionnelle des composantes. 156

Illustration 94 : Utilisation du modèle de la station de Luxé en prévision : en haut courbes théoriques avec période de retour, en bas superposition des courbes médiane, 5 et 20 ans secs sur les chroniques annuelles. 157

Illustration 95 : Comparaison des débits aux stations de Luxé, Vindelle et Foulpougne sur le cycle septembre 2002/septembre 2003. 158

Illustration 96 : Modélisation de la station de Vindelle de haut en bas : superposition du modèle sur la chronique, les différentes composantes, analyse impulsionnelle des composantes. 160

Illustration 97 : Utilisation du modèle de la station de Vindelle en prévision : en haut courbes théoriques avec période de retour, en bas superposition des courbes médiane, 5 et 20 ans secs sur les chroniques annuelles. 161

Illustration 98 : Modélisation de la station de la Feuillade de haut en bas : superposition du modèle sur la chronique, les différentes composantes 163

Illustration 99 : Utilisation du modèle de la station de la Feuillade en prévision : en haut courbes théoriques avec période de retour, en bas superposition des courbes médiane, 5 et 20 ans secs sur les chroniques annuelles. 164

Illustration 100 : Modélisation de la station de Montbron de haut en bas : superposition du modèle sur la chronique, les différentes composantes 166

Illustration 101 : Utilisation du modèle de la station de Montbron en prévision : en haut courbes théoriques avec période de retour, en bas superposition des courbes médiane, 5 et 20 ans secs sur les chroniques annuelles. 167

Illustration 102 : Modélisation de la station de Coulgens de haut en bas : superposition du modèle sur la chronique, les différentes composantes 169

Illustration 103 : Utilisation du modèle de la station de Coulgens en prévision : en haut courbes théoriques avec période de retour, en bas superposition des courbes médiane, 5 et 20 ans secs sur les chroniques annuelles. 170

Illustration 104 : Modélisation de la station de Villebette de haut en bas : superposition du modèle sur la chronique, les différentes composantes. 172

Illustration 105 : Utilisation du modèle de la station de Villebette en prévision : en haut courbes théoriques avec période de retour, en bas superposition des courbes médiane, 5 et 20 ans secs sur les chroniques annuelles. 173

Illustration 106 : Utilisation du modèle de la station de Villebette en prévision : en haut courbes théoriques avec période de retour, en bas superposition des courbes médiane, 5 et 20 ans secs sur les chroniques annuelles. 176

Illustration 107 : Utilisation du modèle de la station de Foulpougne en prévision : en haut courbes théoriques avec période de retour, en bas superposition des courbes médiane, 5 et 20 ans secs sur les chroniques annuelles. 177

Illustration 108 : Modélisation du piézomètre de Juillers (Jurassique supérieur), de haut en bas : superposition du modèle sur la chronique, les différentes composantes, analyse impulsionnelle de la composante lente. 179

Illustration 109 : Utilisation du modèle du piézomètre de Juillers en prévision : en haut courbes non influencé par les pompages (en m NGF) avec période de retour, en bas superposition des courbes médiane, 5 et 20 ans secs sur les chroniques. 180

Illustration 110 : Modélisation du piézomètre de Ballans (Jurassique supérieur), de haut en bas : superposition du modèle sur la chronique, les différentes composantes, analyse impulsionnelle des composantes lente et rapide. 182

Illustration 111 : Utilisation du modèle du piézomètre de Ballans en prévision : en haut courbes non influencé par les pompages (en m NGF) avec période de retour, en bas superposition des courbes médiane et 5 ans secs sur les chroniques. 183

Illustration 112 : Modélisation du piézomètre de Lunesse (Jurassique supérieur), de haut en bas : superposition du modèle sur la chronique, les différentes composantes, analyse impulsionnelle de la composante lente. 185

Illustration 113 : Utilisation du modèle du piézomètre de Lunesse en prévision : en haut courbes non influencé par les pompages (en m NGF) avec période de retour, en bas superposition des courbes médiane et 5 ans secs sur les chroniques. 186

Illustration 114 : Modélisation du piézomètre de Dignac (Turonien), de haut en bas : superposition du modèle sur la chronique, les différentes composantes, analyse impulsionnelle des composantes lente et rapide. 188

Illustration 115 : Utilisation du modèle du piézomètre de Dignac en prévision : en haut courbes non influencé par les pompages (en m NGF) avec période de retour, en bas superposition des courbes médiane et 5 ans secs sur les chroniques. 189

Illustration 116 : Modélisation du piézomètre de Torsac (Turonien), de haut en bas : superposition du modèle sur la chronique, les différentes composantes, analyse impulsionnelle des composantes lente et rapide. 191

Illustration 117 : Utilisation du modèle du piézomètre de Torsac en prévision : en haut courbes non influencé par les pompages (en m NGF) avec période de retour, en bas superposition des courbes médiane et 5 ans secs sur les chroniques. 192

Illustration 118 : Modélisation du piézomètre de Juillaguet (Turonien), de haut en bas : superposition du modèle sur la chronique, les différentes composantes, analyse impulsionnelle des composantes lente et rapide. 194

Illustration 119 : Utilisation du modèle du piézomètre de Juillaguet en prévision : en haut courbes non influencé par les pompages (en m NGF) avec période de retour, en bas superposition des courbes médiane, 5 et 10 ans secs sur les chroniques....195

Illustration 120 : Modélisation du piézomètre de Rouffiac (Turonien), de haut en bas : superposition du modèle sur la chronique, les différentes composantes, analyse impulsionnelle de la composante lente. 197

Illustration 121 : Utilisation du modèle du piézomètre de Rouffiac en prévision : en haut courbes non influencé par les pompages (en m NGF) avec période de retour, en bas superposition des courbes médiane et 5 ans secs sur les chroniques. 198

Illustration 122 : Modélisation du piézomètre de Salignac (Turonien), de haut en bas : superposition du modèle sur la chronique, les différentes composantes, analyse impulsionnelle des composantes. 200

Illustration 123 : Utilisation du modèle du piézomètre de Salignac en prévision : en haut courbes non influencé par les pompages (en m NGF) avec période de retour, en bas superposition des courbes médiane et 5 ans secs sur les chroniques. 201

Illustration 124 : Modélisation du piézomètre de St-Césaire (Cénomanien), de haut en bas : superposition du modèle sur la chronique, les différentes composantes, analyse impulsionnelle de la composante lente. 203

Illustration 125 : Utilisation du modèle du piézomètre de St-Césaire en prévision : en haut courbes non influencé par les pompages (en m NGF) avec période de retour, en bas superposition des courbes médiane et 5 ans secs sur les chroniques....204

Illustration 126 : Modélisation du piézomètre de Baignes (Turonien), de haut en bas : superposition du modèle sur la chronique, les différentes composantes, analyse impulsionnelle de la composante lente. 206

Illustration 127 : Utilisation du modèle du piézomètre de Baignes en prévision : en haut courbes non influencé par les pompages (en m NGF) avec période de retour , en bas superposition des courbes médiane et 5 ans secs sur les chroniques. 207

Illustration 128 : Modélisation du piézomètre de Pommiers (Turonien), de haut en bas : superposition du modèle sur la chronique, les différentes composantes, analyse impulsionnelle de la composante lente. 209

Illustration 129 : Utilisation du modèle du piézomètre de Pommiers en prévision : en haut courbes non influencé par les pompages (en m NGF) avec période de retour, en bas superposition des courbes médiane et 5 ans secs sur les chroniques....210

Illustration 130 : Modélisation du piézomètre de Biron (Turonien), de haut en bas : superposition du modèle sur la chronique, les différentes composantes, analyse impulsionnelle des composantes lente et rapide. 212

Illustration 131 : Utilisation du modèle du piézomètre de St-Césaire en prévision : en haut courbes non influencé par les pompages (en m NGF) avec période de retour, en bas superposition des courbes médiane, 5 et 20 ans secs sur les chroniques....213

Illustration 132 : Modélisation du piézomètre de Poussardières (Cénomanien), de haut en bas : superposition du modèle sur la chronique, les différentes composantes, analyse impulsionnelle des composantes lente et rapide....215

Illustration 133 : Utilisation du modèle du piézomètre de Poussardière en prévision : en haut courbes non influencé par les pompages (en m NGF) avec période de retour, en bas superposition des courbes médiane, 5 et 20 ans secs sur les chroniques. 216

Illustration 134 : Modélisation du piézomètre de La Clisse (Turonien), de haut en bas : superposition du modèle sur la chronique, les différentes composantes, analyse impulsionnelle de la composante lente..... 218

Illustration 135 : Utilisation du modèle du piézomètre de La Clisse en prévision : en haut courbes non influencé par les pompages (en m NGF) avec période de retour, en bas superposition des courbes médiane , 5 et 20 ans secs sur les chroniques. 219

Illustration 136 : Modélisation du piézomètre de Bridon de haut en bas : superposition du modèle sur la chronique, les différentes composantes (à gauche), reconstitution d'une chronique avec le modèle (à droite), analyse impulsionnelle des composantes. 221

Illustration 137 : Utilisation du modèle du piézomètre de Bridon en prévision : en haut courbes noFR)n influencé par les pompages (en m NGF) avec période de retour, en bas superposition des courbes médiane, 5 et 10 ans secs sur les chroniques. 222

Illustration 138 : Modélisation du piézomètre de St Agant (Turonien), de haut en bas : superposition du modèle sur la chronique, les différentes composantes, analyse impulsionnelle des composantes..... 224

Illustration 139 : Utilisation du modèle du piézomètre de St-Agnant en prévision : en haut courbes non influencé par les pompages (en m NGF) avec période de retour, en bas superposition des courbes médiane et 5 ans secs sur les chroniques. 225

Illustration 140 : Modélisation du piézomètre de Réorte (Jurassique sup.), de haut en bas : superposition du modèle sur la chronique, les différentes composantes, analyse impulsionnelle de la composante lente..... 227

Illustration 141 : Utilisation du modèle du piézomètre de Réorte en prévision : en haut courbes non influencé par les pompages (en m NGF) avec période de retour, en bas superposition des courbes médiane et 5 ans secs sur les chroniques. 228

Illustration 142 : Modélisation du piézomètre de Salles (Jurassique sup.), de haut en bas : superposition du modèle sur la chronique, les différentes composantes, analyse impulsionnelle de la composante lente..... 230

Illustration 143 : Utilisation du modèle du piézomètre de Salles en prévision : en haut courbes non influencé par les pompages (en m NGF) avec période de retour, en bas superposition des courbes médiane, 5 et 20 ans secs sur les chroniques. 231

Illustration 144 : Modélisation de la station de Jarnac de haut en bas : superposition du modèle sur la chronique, les différentes composantes, analyse impulsionnelle des composantes. 233

Illustration 145 : Utilisation du modèle de la station de Jarnac en prévision : en haut courbes théoriques avec période de retour, en bas superposition des courbes médiane, 5 et 20 ans secs sur les chroniques annuelles..... 234

Illustration 146 : Modélisation de la station de Salles d'Angles (Né) de haut en bas : superposition du modèle sur la chronique, les différentes composantes..... 236

Illustration 147 : Utilisation du modèle de la station de Salles d'Angles en prévision : en haut courbes théoriques avec période de retour, en bas superposition des courbes médiane, 5 et 20 ans secs sur les chroniques annuelles..... 237

Illustration 148 : Modélisation de la station de Chaniers de haut en bas : superposition du modèle sur la chronique, les différentes composantes, analyse impulsionnelle des composantes. 239

Illustration 149 : Utilisation du modèle de la station de Chaniers en prévision : en haut courbes théoriques avec période de retour, en bas superposition des courbes médiane, 5 et 20 ans secs sur les chroniques annuelles. 240

Illustration 150 : Modélisation de la station de St-Seurin-de-Palenne de haut en bas : superposition du modèle sur la chronique, les différentes composantes, analyse impulsionnelle des composantes. 242

Illustration 151 : Utilisation du modèle de la station de St-Seurin-de-Palenne en prévision : en haut courbes théoriques avec période de retour, en bas superposition des courbes médiane, 5 et 20 ans secs sur les chroniques annuelles. 243

Illustration 152 : Modélisation de la station de St-Savinien de haut en bas : superposition du modèle sur la chronique, les différentes composantes, analyse impulsionnelle des composantes. 245

Illustration 153 : Utilisation du modèle de la station de St-Savinien en prévision : en haut courbes théoriques avec période de retour, en bas superposition des courbes médiane, 5 et 20 ans secs sur les chroniques annuelles 246

Illustration 154 : Localisation des stations hydrométriques avec les principaux résultats de la modélisation sur le fond géologique....253

Illustration 155 : Carte de synthèse des zones de gestion proposées 267

Liste des tableaux

Tableau 1 : Différence entre les volumes mesurés à Charroux du 1er juin au 1er octobre et les volumes théoriques donnés par la courbe médiane. 142

Tableau 2 : Différence entre les volumes mesurés à St-Saviol du 1er juin au 1er octobre et les volumes théoriques donnés par la courbe médiane. 147

Tableau 3 : Synthèse des résultats de la modélisation sur les volumes disponibles par rapport aux objectifs sur chaque station hydrométrique. 251

Tableau 4 : Synthèse des résultats de modélisation des chroniques piézométriques, propositions pour la gestion 265

Liste des Annexes

Annexe 1 Compilation (DIREN) des avis des hydrogéologues naturalistes....271

Annexe 2 Note de l'Institution du Fleuve Charente et éléments de réponses du BRGM aux questions techniques posées....285

Annexe 3 Compte-rendu (DIREN) de la réunion du 18 juin 2008 avec les hydrogéologues « naturalistes » et courrier du Syndicat des eaux de la Charente-Maritime....289

Liste des planches hors texte (CDROM)

Planche I Charente amont

Planche II Charente aval

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 et de débits disponibles dans les réseaux régionaux (Conseil Régional, DIREN).

De 2005 à 2007, une première phase a concerné 5 bassins versants de la région : Dive du Nord, Clain, Sèvre-Niortaise, Boutonne, Seudre. Cette phase, rendue en version provisoire en juin2006, a fait ensuite l'objet de plusieurs expertises et de nombreuses réunions de présentation et d'échange.

Cette approche apporte des éléments techniques factuels améliorant la connaissance de l'hydro-système et contribuant à la gestion des prélèvements agricoles. En matière de gestion, les questions posées sont essentiellement de 2 ordres :

- Quels sont les volumes « prélevables » que permettent les ressources en fonction des objectifs fixés ?

- Comment améliorer la cohérence de la gestion des prélèvements en période estivale ?

En effet, 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…

De 2006 à 2008, ce travail s'est poursuivi avec une deuxième phase relative au bassin versant de la Charente et objet de ce rapport. Une troisième phase est prévue pour traiter les bassins versants restants (Vienne, Tude, Thouet,…) et actualiser les modèles élaborés dans les phases précédentes.

L'objectif de la commande de la DIREN en date de novembre 2006 est multiple :

- analyser, avec le logiciel TEMPO de traitement du signal développé par le BRGM, au moins 30 chroniques piézométriques des bassins versant de la Charente (hors Boutonne traité en phase 1),
- sélectionner des piézomètres et 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 des 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 débits de gestion (DOE[1], DCR[2], DSA[3], DOC[4]) 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 2006 au printemps 2007 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 rend compte des résultats obtenus dans le cadre du travail de modélisation avec TEMPO et en dégage des propositions en matière de gestion.

Un premier rapport provisoire (document de travail) a été remis à la DIREN en juillet 2007. Ce document a servi de base pour recueillir les avis des services de l'Etat, de l'Agence de l'Eau Adour-Garonne et de l'Institution du Fleuve Charente dans un premier temps, d'hydrogéologues régionaux, du milieu professionnel (Chambre d'Agriculture) et associatif, et des collectivités dans un second temps. Ce rapport définitif tient compte des différents avis en matière de formalisme. En ce qui concerne le travail de modélisation, ces consultations ont guidé la réalisation des nouveaux modèles et l'actualisation des modèles traités en phase 1 et 2, objet du travail de phase 3. **C'est pourquoi l'on pourra trouver dans le rapport de phase 3 des résultats légèrement modifiés, en matière de volumes disponibles notamment.** Ajoutons que les plaquettes réalisées à partir de ce travail et diffusées par la DIREN sont basées sur les résultats de la phase 3, ce qui a le mérite de fournir une information sur une analyse homogène au niveau de la région Poitou-Charentes.

Enfin, il convient de souligner que ce travail vise à améliorer la compréhension des mécanismes hydrogéologiques et des relations nappe/rivière. En matière de disponibilité de la ressource souterraine et d'adéquation des débits d'objectif en rivière avec ce que peut fournir le milieu naturel, il a pour seule prétention d'apporter des éléments techniques pour alimenter les débats des gestionnaires, mais ne prétend pas se substituer aux démarches de type PGE ou SAGE.

[1] DOE : Débit d'Objectif d'Etiage

[2] DCR : Débit de CRise

[3] DSA : Débit Seuil Alerte (en gestion de crise)

[4] DOC : Débit d'Objectif Complémentaire (proposé par le PGE)

2. Méthodologie

FONCTIONNEMENT DE L'HYDROSYSTEME

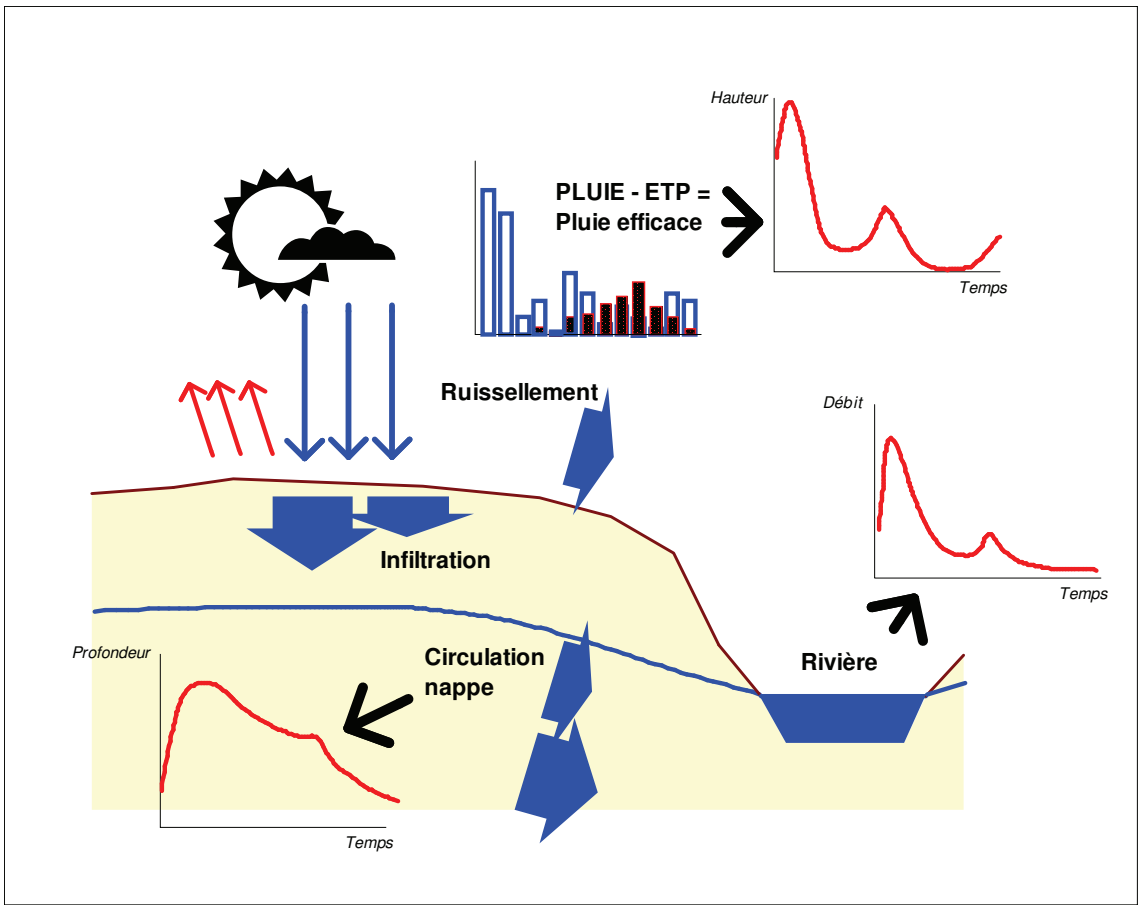


Illustration 1 : Schéma de l'hydrosystème

Une partie importante de la pluie qui tombe rejoint rapidement l'atmosphère par Evapo-Transpiration. Cette partie est d'autant plus importante que la couverture végétale est abondante et la température élevée. Elle est donc variable dans l'année.

La fraction restante de la pluie, la pluie efficace, va soit ruisseler vers les cours d'eau soit s'infiltrer dans le sol pour rejoindre la nappe. Plus le sol est perméable plus la fraction infiltrée sera importante. Dans le sol (non-saturé en eau) les circulations des eaux vont se faire plus ou moins rapidement avec des transferts rapides (via les conduites karstiques) et des transferts lents (au sein de la matrice dans les pores de la roche). Bien sûr, il y a toutes les vitesses intermédiaires entre ces 2 pôles.

Dans la nappe (saturée en eau), les eaux vont circuler de la même manière, avec des transferts rapides et des transferts lents. Ces eaux souterraines vont soit rejoindre les rivières (la plus grosse fraction) soit s'écouler vers les nappes profondes des bassins sédimentaires (plusieurs centaines de mètres de profondeur).

Ainsi, à partir des stations de mesures de METEOFRANCE, on peut avoir l'évolution dans le temps de la pluie efficace (données de pluie au pas journalier et d'ETP au pas décadaire). Les piézomètres (réseau régional) donnent l'évolution journalière du niveau de la nappe en un point et les stations hydrométriques (banque HYDRO du Ministère) l'évolution du débit de la rivière également au pas journalier.

L'évolution du niveau de la nappe dépend principalement de la pluie efficace que le piézomètre enregistre avec une intensité et un retard plus ou moins important.

Le débit de la rivière dépend lui à la fois des ruissellements sur le bassin versant et des échanges avec les nappes.

En hiver, le couvert végétal étant peu important et les températures basses, la pluie est essentiellement efficace. Les nappes se rechargent progressivement. En été, les pluies efficaces sont très faibles voire nulles, les nappes se vidangent plus ou moins lentement. Alors qu'en hiver les ruissellements dans le bassin versant sont nettement prépondérants dans le débit d'une rivière, en été ce sont les nappes qui font les débits.

FONCTIONALITES DU LOGICIEL TEMPO

Le logiciel TEMPO permet de décomposer l'hydrogramme d'un cours d'eau ou un niveau piézométrique en ses diverses composantes. Mais plus largement, TEMPO est un ensemble d'outils mathématiques permettant de déterminer et d'analyser les relations entre des séries temporelles de mesures.

Dans le cas présent, TEMPO a été utilisé pour étudier les corrélations entre la pluie efficace et le niveau de la nappe en premier lieu (ill. 2), entre la pluie efficace, le niveau de la nappe et le débit du cours d'eau en second lieu (ill. 3).

Dans la première étape, les variations piézométriques sont reconstituées à partir d'un modèle de transfert pluie/niveau au moyen d'une fonction de transfert (ou réponse impulsionnelle[5]). Par construction, la réponse impulsionnelle relie linéairement l'entrée (pluie efficace) à la sortie (piézométrie), c'est-à-dire que la sortie est proportionnelle aux sollicitations de l'entrée, la réponse du système étant plus ou moins décalée dans le temps. Toutefois, pour tenir compte de l'existence de transferts lents et de transferts rapides, le modèle est non linéaire avec la définition de deux fonctions de transfert obtenues chacune par le produit de convolution d'une gaussienne (recharge de la

[5] La réponse impulsionnelle I d'un phénomène temporel (série S) à une sollicitation (série R) est solution de l'équation : S = R*I + at + b où * représente le produit de convolution discret, t le temps et at + b une tendance.

nappe) par une exponentielle (tarissement)[6]. La lame d'eau (pluie efficace) est donc transférée de manière plus ou moins rapide vers la sortie du système grâce à une fonction α, comprise entre 0 et 1, séparant les différentes contributions : Pluie eff.(t)* α(t) pour la composante rapide et Pluie eff.(t)*[1- α(t)] pour les transferts lents et différés.

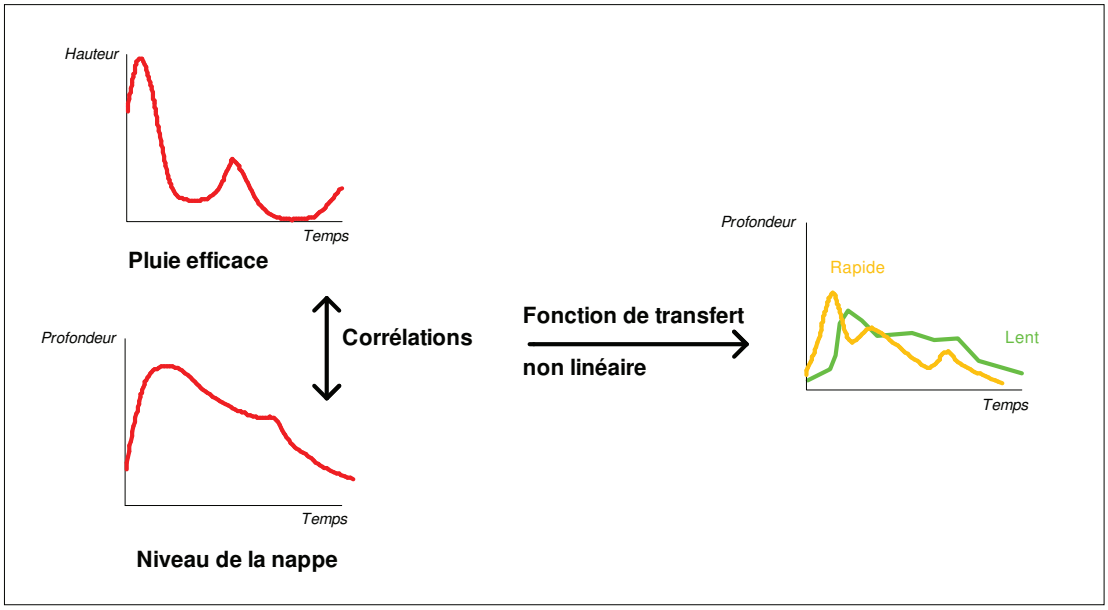


Illustration 2 : Principe d'un modèle simple pluie/niveau à réponse impulsionnelle

[6] Ce modèle paramétrique à 3 degrés de liberté peut s'écrire :
$I(t) = A\exp(-\ln(2)((t-T)/D)^2 * \exp(-t.\ln(2)/L)$
L'aire étant imposée par la loi de conservation reliant l'entrée à la sortie, le paramètre A est fixé par cette même loi de conservation. Les 3 degrés de liberté sont :

- la position de la Gaussienne T ≥0
- la largeur de la Gaussienne D > 0
- le ½ tarissement L

D'un point de vue physique, ce modèle traduit la recharge d'un réservoir matérialisée par la Gaussienne suivie par sa vidange représentée par la loi exponentielle. La succession de ces 2 phénomènes est alors le produit de convolution de la loi de recharge par la loi de vidange. Le paramètre T exprime le retard du processus de recharge par rapport à la pluie alors que le paramètre D traduit la durée du phénomène.

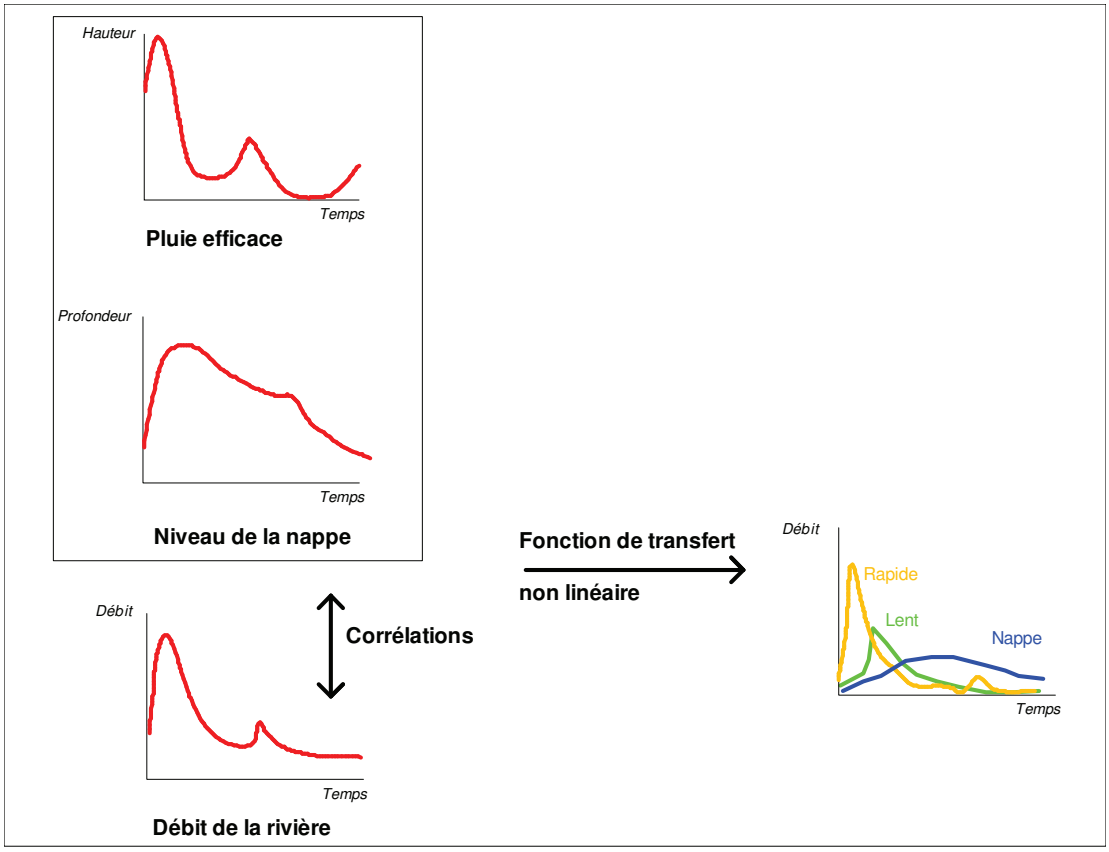


Illustration 3 : Principe d'un modèle « simple » pluie/niveau/débit à réponse impulsionnelle

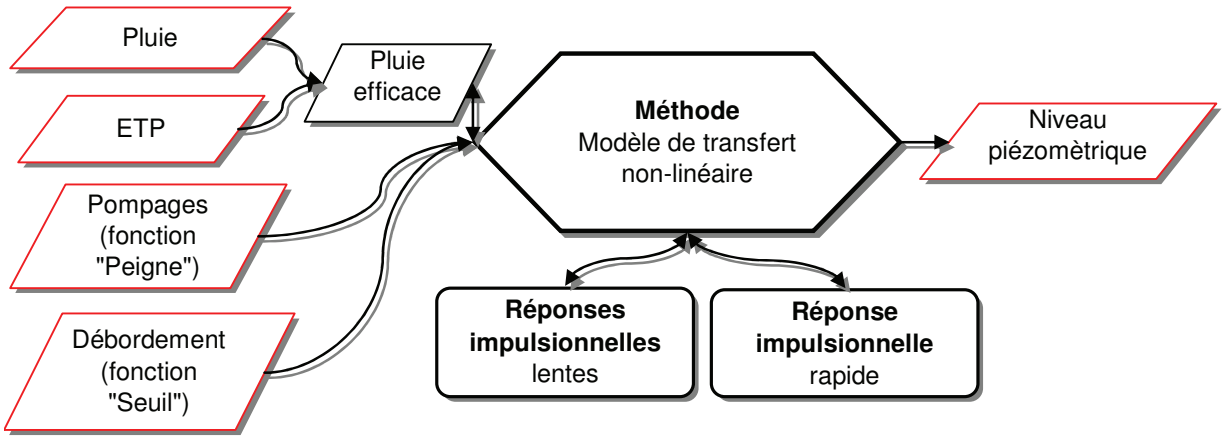


Illustration 4 : Principe d'un modèle "pluie-niveau" avec prise en compte des pompages et un seuil de débordement

Dans la seconde étape, le débit est reconstitué en considérant plusieurs entrées : pluie efficace, niveau piézométrique. Certains modèles considèrent un nombre plus important de variables en entrée, comme une deuxième nappe et/ou un débit amont. Le modèle peut être encore compliqué en introduisant des fonctions pour représenter certains phénomènes (ill.4).

Ce noyau central de calcul des réponses impulsionnelles s'entoure dans le logiciel TEMPO de nombreux outils mathématiques pour :

- l'introduction des données : étalonnage des variables, reconstitution de série de données manquante, application de coefficients correcteurs…

- analyse de cohérence sur les variables par l'utilisation de corrélogramme[7] et périodogramme[8]

- analyse de l'ajustement du modèle sur la chronique à travers le coefficient R^2 et celui de Nash…

Une fois les modèles pluie/niveau/débit ajustés, ces derniers peuvent être utilisés pour faire de la prévision. A ce niveau, TEMPO intègre aussi des outils statistiques pour simuler une séquence de pluie de manière aléatoire, séquence satisfaisant un certain nombre de conditions déduites de l'analyse de l'historique des pluies observées.

Sans décrire précisément tous les outils mathématiques disponibles sous TEMPO, le chapitre suivant détaille les différentes étapes qui ont conduit le travail de modélisation pour les bassins versants de Poitou-Charentes.

---

[7] Le corrélogramme
Dans une série de mesures s'échelonnant dans le temps, il peut exister une corrélation entre valeurs successives de la série. Cette corrélation s'estompe au bout d'un certain temps, fonction de l'inertie du système (il n'y a pas d'autocorrélation pour des pluies journalières mais par contre elle sera forte pour les niveaux journaliers d'une nappe ou bien pour des débits journaliers, la valeur mesurée à un jour donné étant bien sûr dépendante des valeurs antérieures).
Ce degré de corrélation (on parle d'auto-corrélation) est mis en évidence par un *corrélogramme* représentant graphiquement la corrélation qui existe entre les valeurs de la série lorsqu'elles sont décalées de 1 pas de temps, puis 2 pas de temps, puis 3,….

[8] Périodogramme
Permet de passer du domaine temporel au domaine fréquentiel: transformation de la série en un spectre de fréquences. Chaque bande de fréquence est porteuse d'une certaine "information" quantifiée par une "densité spectrale de puissance" (dsp).
Cela est équivalent aussi à une partition de la variance totale de la série, la dsp pouvant être interprétée comme une fraction de la variance totale affectée à chaque bande de fréquence.
Le périodogramme permet de déceler des périodicités dans une série temporelle.

LES DIFFERENTES ETAPES

2.1.1. Pondération des pluies

La pluie mesurée à la station la plus proche de l'objet à modéliser (piézométrie, hydrométrie) n'est pas forcément la plus représentative du fait du caractère intégrateur des bassins versants hydrogéologique ou hydrologique.

L'utilisation d'une combinaison de pluies et d'ETP permet de s'affranchir des effets locaux sur les stations. La pluie optimale est donc construite à partir d'une somme pondérée des séries pluviométriques de telle sorte que l'aire déterminée par la branche ascendante du corrélogramme croisé[9] *pluie efficace pondéré/débit ou niveau piézométrique* soit maximale. Cette méthode d'optimisation ne repose sur aucune hypothèse arbitraire puisqu'elle ne fait que traduire et renforcer la relation causale pluie/débit ou niveau.

Pour les bassins de Poitou-Charentes, un très grand nombre de chroniques pluviométriques (au pas journalier) et ETP (au pas décadaire) a été acquis auprès de METEOFRANCE de manière à couvrir l'ensemble du territoire régional (et même sa périphérie) et pour une période de temps remontant à 1990[10]. Cette recherche de l'équation optimale a été faite soit sur des chroniques piézométriques, soit sur des chroniques hydrométriques. Pour le bassin de la Charente 3 équations ont été utilisées de manière à intégrer les influence océanique et celles plus « continentales » :

- pour la Charente amont : $0.35P_{Couronne} + 0.11P_{La\ Rochelle} + 0.03P_{Roche\ sur\ Yon} + 0.26P_{Niort} + .26P_{Poitiers}$ avec l'ETP de Poitiers
- pour le Né, Seugne et Charente aval : $0.22P_{Couronne} + 0.28P_{Rochelle} + 0.09P_{Mérignac} + 0.27P_{Poitiers} + 0.14P_{Saintes}$ avec l'ETP de La Rochelle
- pour la Boutonne : $0.3P_{Rochelle} + 0.7P_{Nuaillé\ sur\ Boutonne}$ avec l'ETP de La Rochelle.

2.1.2. Calage des modèles

Dans la plupart des cas, les fonctions de transfert (ou réponses impulsionnelles) obtenues ne suffisent pas pour reproduire de manière satisfaisante la chronique de mesures hydrogéologiques ou hydrologiques.

L'étude de l'environnement du point (piézomètre ou station hydrologique), à partir des cartes géologiques (1/50 000) et géographiques (IGN 1/25 000), permet d'identifier les

[9] Corrélogramme croisé
C'est l'analogue du corrélogramme mais pour 2 variables, par exemple pluies et débits. Le coefficient de corrélation croisée mesure la dépendance qui existe entre les deux variables au cours du temps. Cette dépendance (ou corrélation croisée) est mise en évidence par un *corrélogramme croisé* représentant graphiquement la corrélation qui existe entre les valeurs des deux séries lorsqu'elles sont décalées de 1 pas de temps, puis 2 pas de temps, puis 3,….

[10] En matière de piézométrie, le réseau régional intègre des chroniques remontant au mieux à 1992 ce qui explique qu'il n'a pas été nécessaire de remonter au-delà de 1990 pour les chroniques météorologiques.

phénomènes qui interviennent et d'expliquer les écarts entre le modèle et la chronique. Ces phénomènes peuvent être d'origine naturelle ou anthropique, et peuvent être reproduits par la modélisation ou pas.

Pour un piézomètre, plusieurs types de phénomènes peuvent intervenir :

- l'existence d'un seuil haut (ill.5) mis en évidence par un écrêtement de la chronique en hautes eaux alors que le modèle est au-dessus : il s'agit là d'un débordement de la nappe soit à la surface (dans ce cas on recherche sur la carte la source, la vallée sèche… qui pourrait expliquer cette sortie d'eau) soit dans un niveau plus transmissif (karst…) supérieur. Ce phénomène est pris en compte dans la modélisation en faisant apparaître une composante qui s'apparente à un pompage dans la nappe dès que la pluie efficace dépasse un certain seuil.

- l'existence d'un seuil bas (ill.6) : dans ce cas le modèle descend nettement plus bas en basses eaux que la chronique mettant en évidence le soutien du niveau de la nappe par la rivière. Le logiciel permet d'introduire ce type de seuil.

- l'existence d'un soutien temporaire par les eaux superficielles (ill.7) : il arrive que le modèle s'ajuste mal sur une chronique qui présente à la fin du printemps/début de l'été un palier très net avant que le niveau piézométrique ne s'effondre sous l'effet des pompages. Ce phénomène temporaire ne peut être reproduit par le modèle.

- l'impact des pompages (ill.8) : certains graphes piézométriques sont très impactés par les pompages ce qui se matérialise par des ruptures de pente dans la chronique. Afin d'en tenir compte, on entre dans le modèle une fonction de type « Peigne » (ill.9) qui découle de l'analyse fine d'un piézomètre impacté. La même fonction est introduite si nécessaire sur tous les piézomètres du bassin versant, voire sur les bassins périphériques. Le « Peigne » est défini en mars de chaque année de manière à anticiper les pompages et le logiciel ajuste ensuite automatiquement les impacts. Seule l'amplitude relative des pompages compte.

- sur quelques piézomètres (ill.10) on observe à partir d'une certaine profondeur un décalage en période d'étiage entre la chronique et le modèle ou un seuil bas sur la chronique par rapport au modèle qui descend plus bas. Ce phénomène, qui affecte principalement la nappe du Jurassique supérieur correspondant à une zone altérée et fissurée superficielle (20 m) qui se « ferme » en profondeur, a été interprété comme un contraste de transmissivité. En profondeur (« banc bleu » des foreurs), la perméabilité diminue nettement et les eaux circulent difficilement (décalage) ou ne circulent plus du tout (seuil). Ce phénomène ne peut être reproduit par la modélisation.

- soutien artificiel de la nappe (ill.11) : dans ce cas on observe, sur certaine période de basses eaux, un niveau de nappe supérieur à ce que donne le modèle en cohérence avec l'absence de pluies efficaces. C'est le cas lorsque le bassin versant est soutenu artificiellement par des lâchers de barrage.

- le modèle de transfert utilise dans certain cas une tendance (ill.12) pour reproduire plus fidèlement la chronique. Cette tendance est bien souvent induite par une (sur)-exploitation de l'aquifère pour l'AEP.

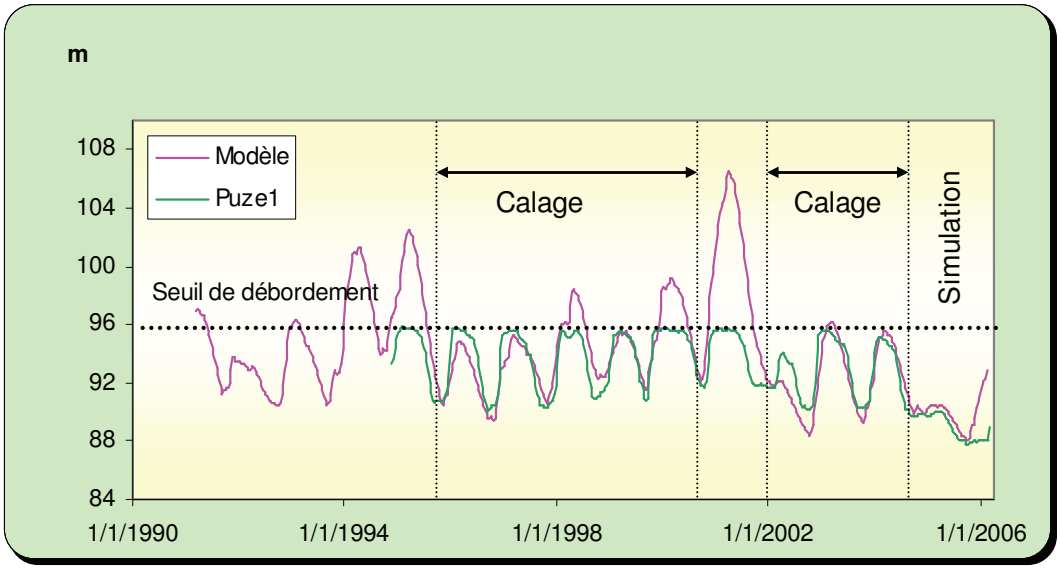


Illustration 5 : Exemple d'une chronique du bassin du Clain présentant un débordement (modèle avant introduction d'un seuil haut)

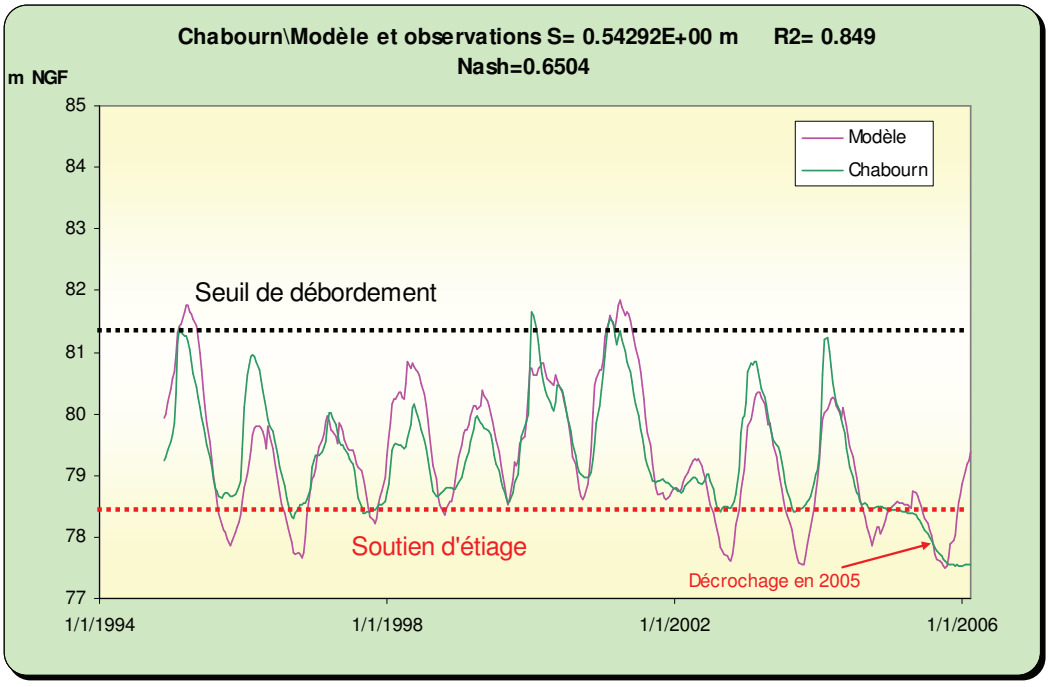


Illustration 6 : Exemple d'un soutien d'étiage de la nappe par la rivière sur le bassin du Clain (il est à remarquer qu'en 2005 la rivière à sec n'a pu soutenir la nappe qui s'est effondrée sous le seuil).

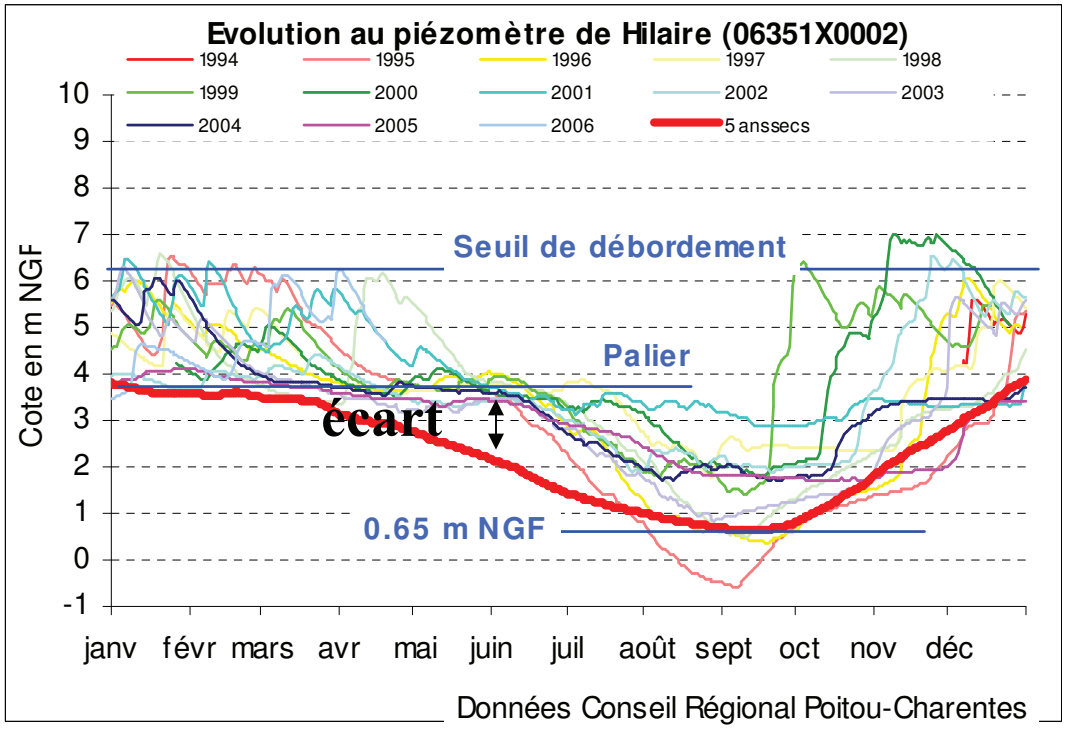


Illustration 7 : Exemple d'un soutien de la nappe par la rivière au printemps/début d'été sur un piézomètre du bassin aval de la Sèvre Niortaise.

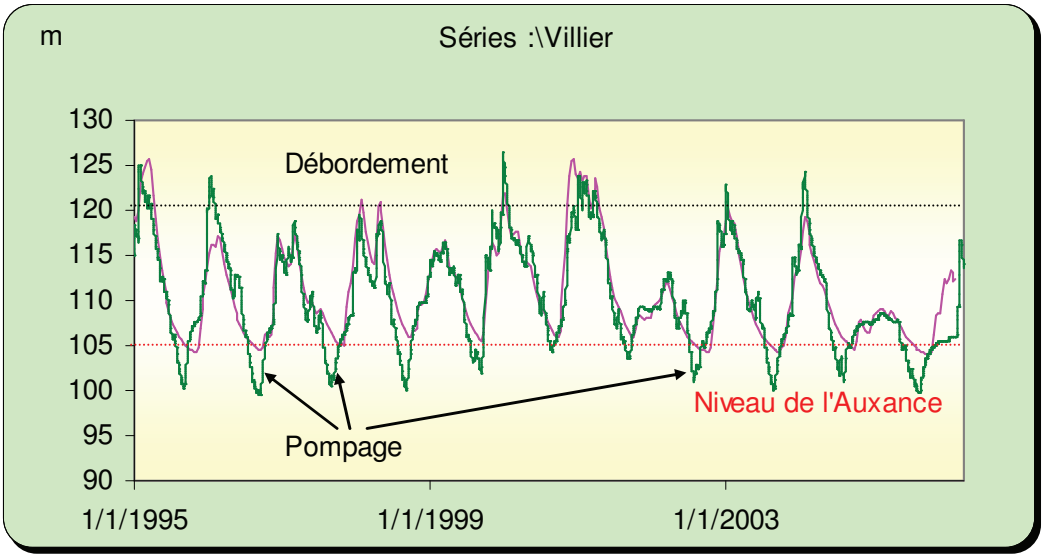


Illustration 8 : Exemple d'impact des pompages sur une chronique piézométrique du bassin du Clain.

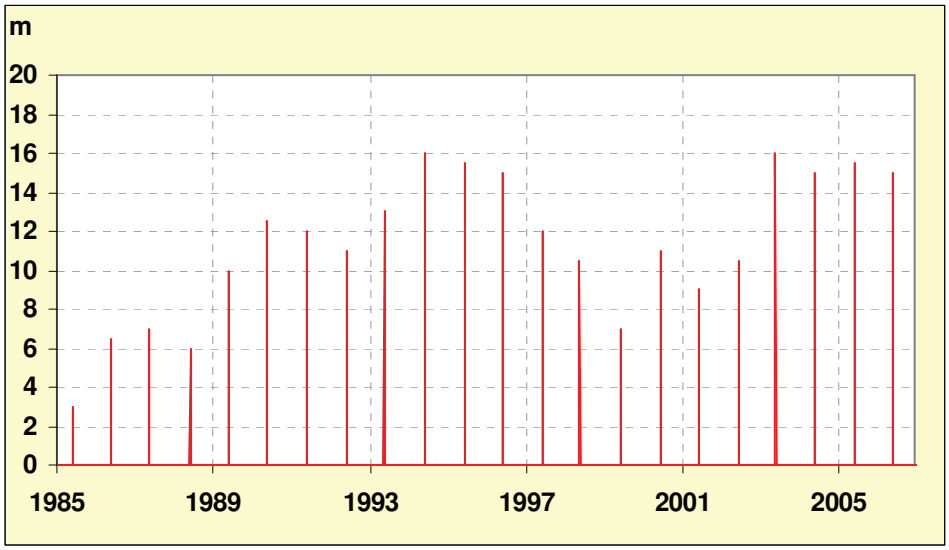


Illustration 9 : Exemple de fonction « Peigne » introduite.

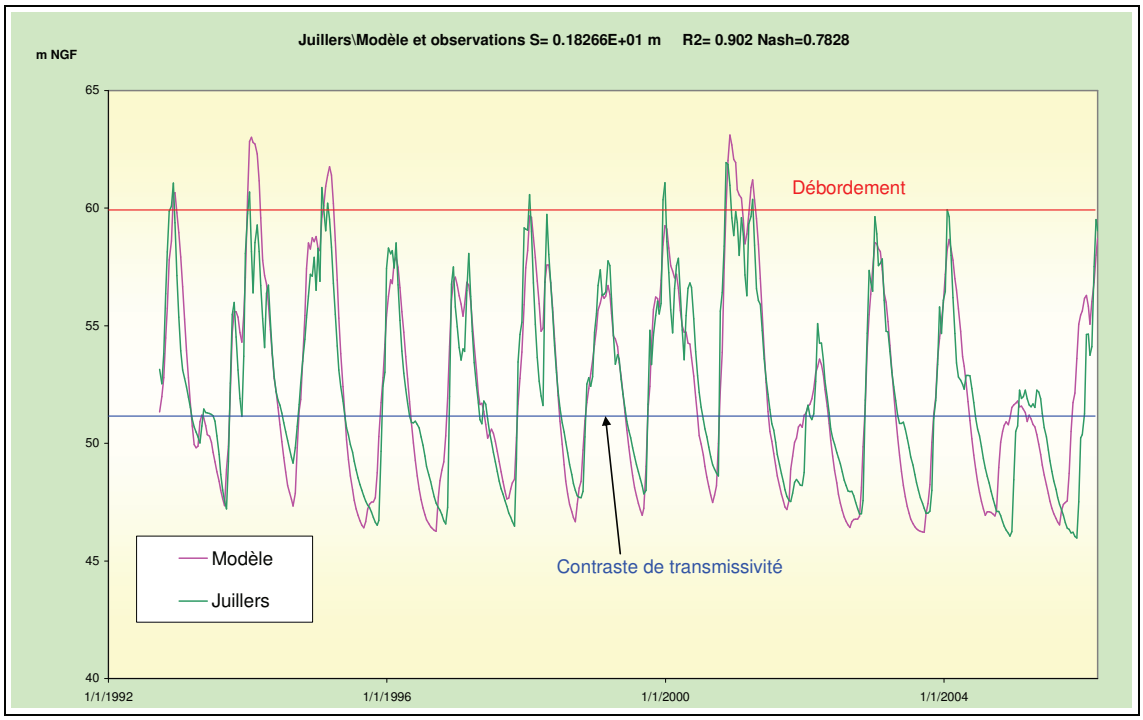


Illustration 10 : Mise en évidence d'un contraste de transmissivité, nappe du Jurassique supérieur de la Boutonne.

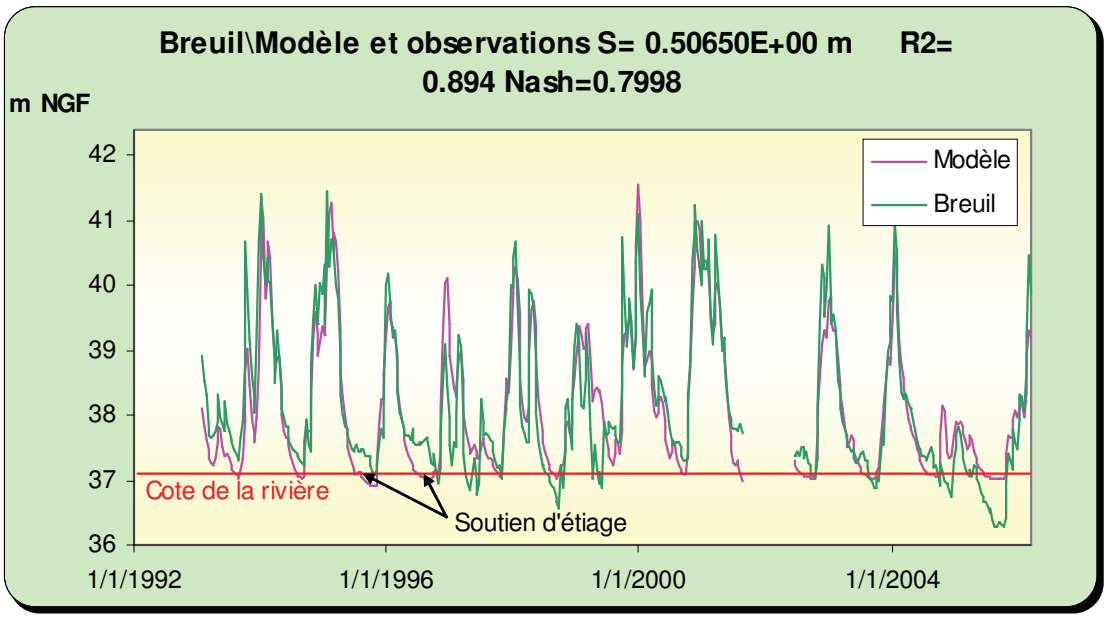


Illustration 11 : Soutien de la nappe par des lâchers de barrage.

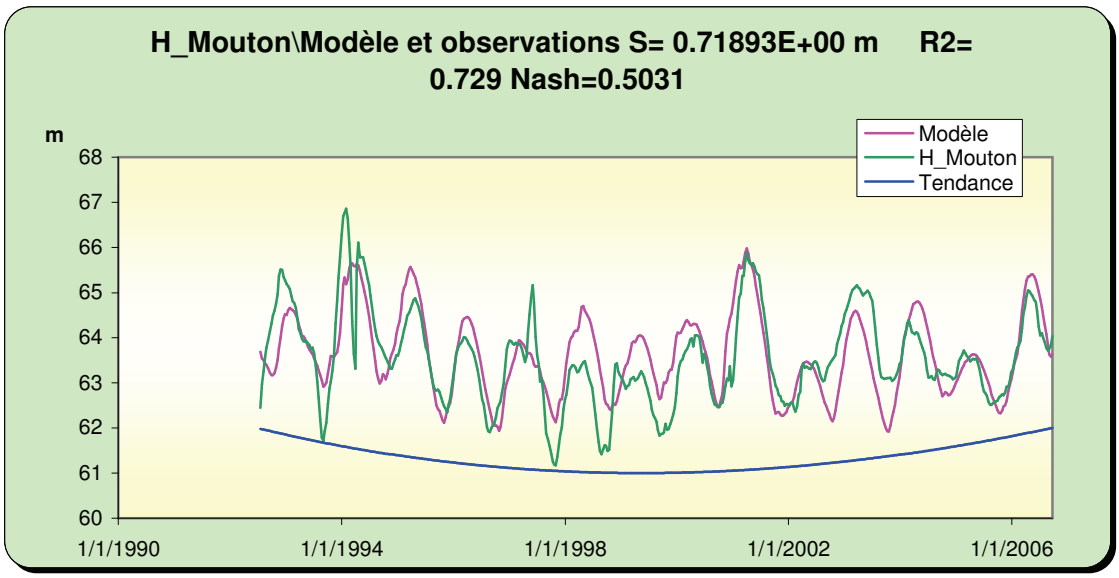


Illustration 12 : Introduction d'une tendance sur un piézomètre du bassin de la Charente.

Pour la modélisation des **débits** des cours d'eau, on utilise en entrée l'équation de la pluie, les chroniques d'un ou de plusieurs piézomètres, éventuellement le débit du cours d'eau si celui-ci est mesuré sur une station plus à l'amont.

Le ou les piézomètre(s) ne sont pas obligatoirement situé(s) à l'amont de la station de débit. Ce qui importe c'est que la chronique restitue le comportement d'un aquifère. Le comportement de l'aquifère de l'Infra-Toarcien, en général captif, peut différer de celui

de l'aquifère karstique du Dogger et de celui de l'aquifère fissuré du Jurassique supérieur.

Comme pour la modélisation des piézomètres, l'outil TEMPO calcule un modèle de transfert qui peut aussi intégrer des fonctions seuils ou Peigne pour tenir compte des pompages ou à contrario des lâchers de barrage..

Comme pour les piézomètres, un « mauvais » ajustement du modèle sur la chronique souligne certains phénomènes :

- l'existence de pertes de la rivière vers les nappes en amont de la station hydrométrique est soulignée par un décalage, parfois très net à l'étiage (ill.13), entre le modèle et la chronique. Le modèle restitue alors l'état de ce que serait le débit sans ces pertes. Ce phénomène ne peut être en effet reproduit par le modèle de transfert.

- l'impact des pompages saisonniers (ill.14), que cela soit en nappe ou en rivière, se matérialise par un écart à l'étiage entre la chronique et le modèle. L'introduction d'une fonction « Peigne » permet de tenir compte de ces pompages.

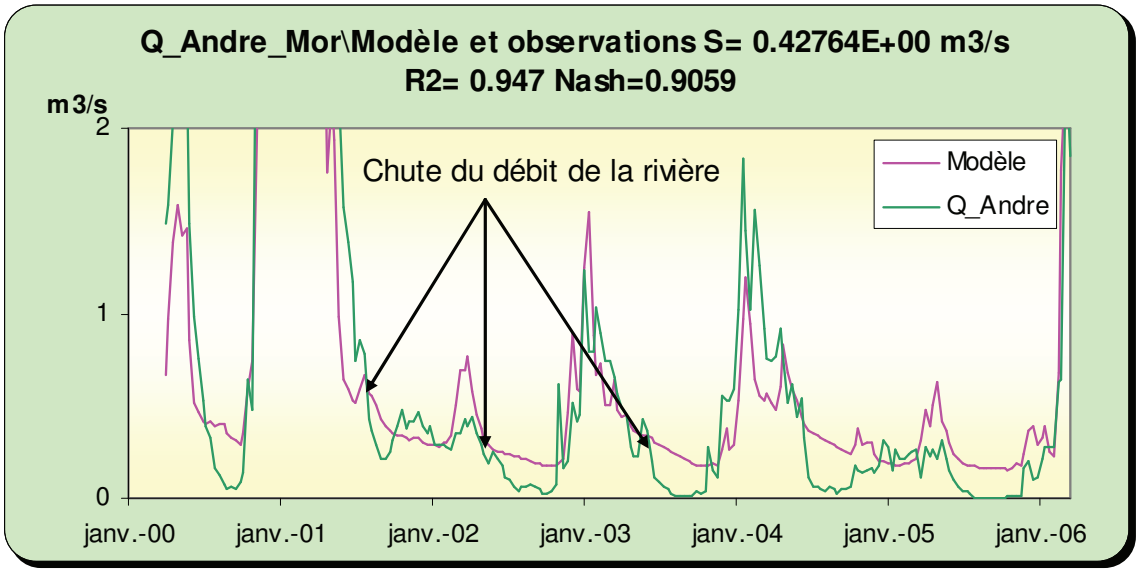


Illustration 13 : Mise en évidence de pertes karstiques de la rivière en amont de la station (bassin de la Seudre).

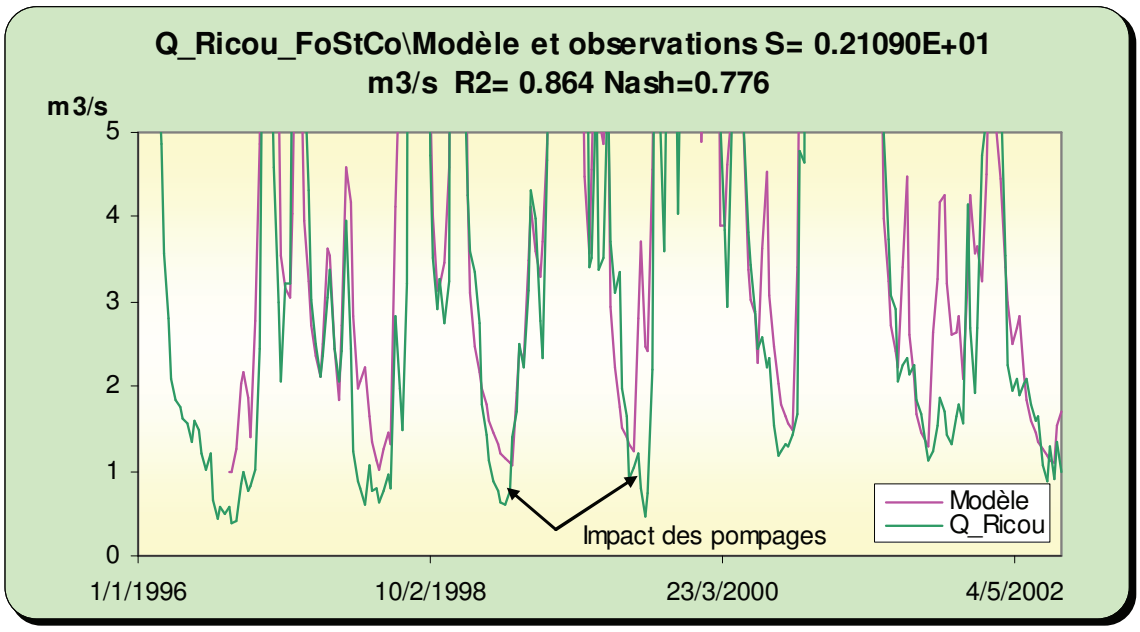


Illustration 14 : Impact des pompages par comparaison du modèle et de la chronique de débit à l'étiage sur une station du bassin de la Sèvre Niortaise.

2.1.3. La boîte à outils TEMPO

En dehors des outils statistiques qui permettent d'analyser la cohérence des variables (corrélogramme, périodogramme…), TEMPO dispose de fonctionnalités qui exploitent le travail de modélisation.

La précision de l'ajustement est mesurée par le calcul de coefficients : Nash, R^2. Plus R^2 (compris entre 0 et 1) est proche de 1, meilleur est le calage.

En règle générale, compte tenu des objectifs de ce travail, le calage des chroniques de débit s'est focalisé sur la période d'étiage. Les crues sont parfois mal reproduites du fait des phénomènes de ruissellement complexes qui interviennent sur le bassin versant.

TEMPO donne les différentes composantes d'une chronique. **Pour un piézomètre**, l'outil restitue, en dehors de l'importance des débordements et des pompages, la part des transferts lents et celle des circulations rapides. La figure 15 illustre, de manière simpliste et schématique, ces différents types de transits souterrains en comparant aquifère sableux (à porosité matricielle) et aquifère calcaire, où l'eau est contenue dans les fissures et les chenaux souterrains.

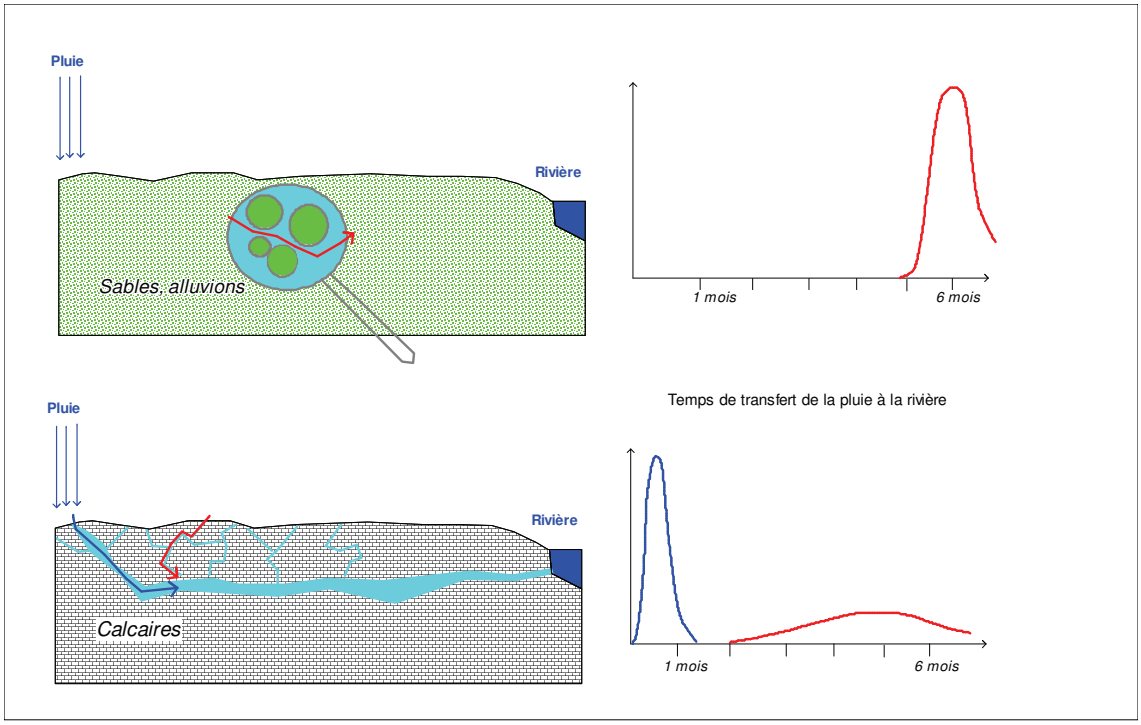


Illustration 15 : Schéma illustrant les 2 grands types de réponse à une pluie dans des formations sédimentaires.

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.15 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.15 bas) correspondant à la fraction de l'eau qui aura emprunté les conduites karstiques,

- et une réponse différée, beaucoup plus aplatie (en rouge sur ill.15 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. Cette « captivité » est parfois toute relative. La nappe du Jurassique supérieur par exemple montre souvent une réaction immédiate à une pluie (transmission des pressions par mise en charge du réseau de fractures), alors qu'elle est considérée comme « lente ».

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.16) sont utilisés pour caractériser l'inertie de l'aquifère au niveau du piézomètre. Il convient encore de préciser qu'il s'agit de transferts de pression sans obligatoirement impliquer des transferts de matière.

Enfin, il convient aussi de rappeler que le degré de remplissage de la Réserve utile du Sol est pris en compte au niveau du calcul de la pluie efficace, qui intègre la pluie et l'ETP données par Météo France.

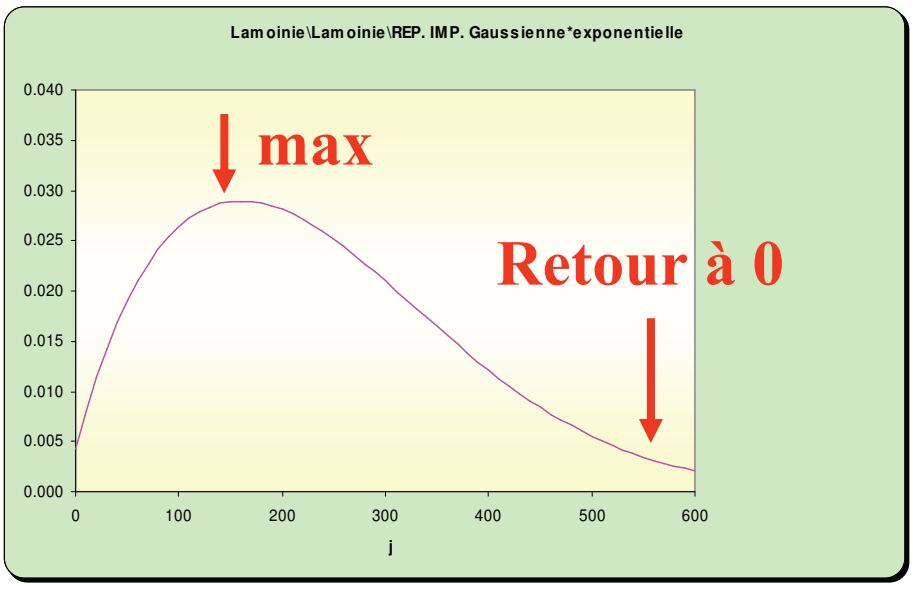


Illustration 16 : analyse impulsionnelle sur la composante lente : paramètres utilisés pour caractériser l'inertie du système.

Pour **les débits**, le logiciel restitue les composantes lente et rapide, les contributions au débit de ou des nappes par rapport aux piézomètres utilisés en entrée, la contribution du débit amont si il y a lieu.

Si le ou les piézomètres utilisés en entrée sont bien représentatifs des apports souterrains, la composante lente se trouve en général réduite surtout en basses eaux. Dans le cas contraire, elle représente les apports lents inexpliqués du bassin versant. La composante rapide illustre les ruissellements, voire les transferts karstiques inexpliqués par les chroniques piézométriques éventuellement rentrées.

2.3.4. Utilisation des modèles en prévision

L'étape suivante a consisté à utiliser les modèles en prévision. Cette étape est relativement indépendante des étapes précédentes. 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 les fonctions pompage ou les tendances n'ont pas été reprises. L'objectif de l'analyse prévisionnelle est de reconstituer des chroniques les plus naturelles possibles.

TEMPO est doté d'un générateur de pluie et d'ETP qui est calibré sur l'analyse des historiques de pluie et d'ETP. Il permet de générer un grand nombre de séries pluviométriques aléatoires (plus de 250 dans le cas présent) couvrant un large spectre de scénarii pluriannuels depuis des situations très pluvieuses jusqu'à des chroniques très sèches. Les modèles des piézomètres et des débits de rivière sont utilisés avec en entrée ces différentes séries. Les simulations obtenues sont ensuite ordonnées 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), les simulations triées de l'année 2011 (simulations dites « non-conditionnelles » car indépendantes des conditions initiales du système hydrogéologique) ont été utilisées pour restituer des courbes théoriques associées à des périodes de retour.

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. Parfois, ceux-ci sont importants, comme sur le bassin versant de la Boivre, entraînant un déficit chronique des débits mesurés sur le cours d'eau par rapport à la superficie du bassin versant, et à la fois enregistré par les mesures de débit et par le modèle.

Les courbes théoriques 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, 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 du QMNA5, base de calcul du DOE.

Il convient aussi de souligner que les courbes théoriques (comme toutes les courbes produites par les modèles) sont lissées sur 10 jours, pas de temps de l'ETP.

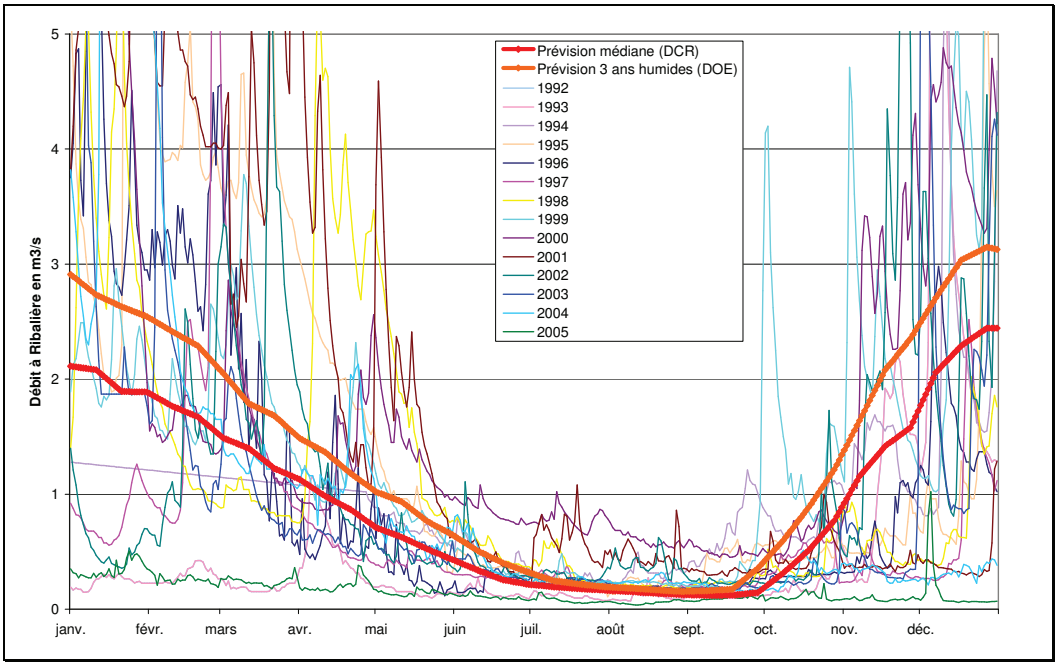


Illustration 17 : Comparaison chronique de mesures de débit et courbes théoriques sur le sous-bassin de la Boivre particulièrement impacté par les prélèvements AEP.

[Remarque : sur ce bassin versant, les objectifs de débit ne peuvent être atteints en condition « pseudo naturelles » (hors prélèvements agricoles) qu'en année triennale humide et les débits de crise respecté qu'en année médiane].

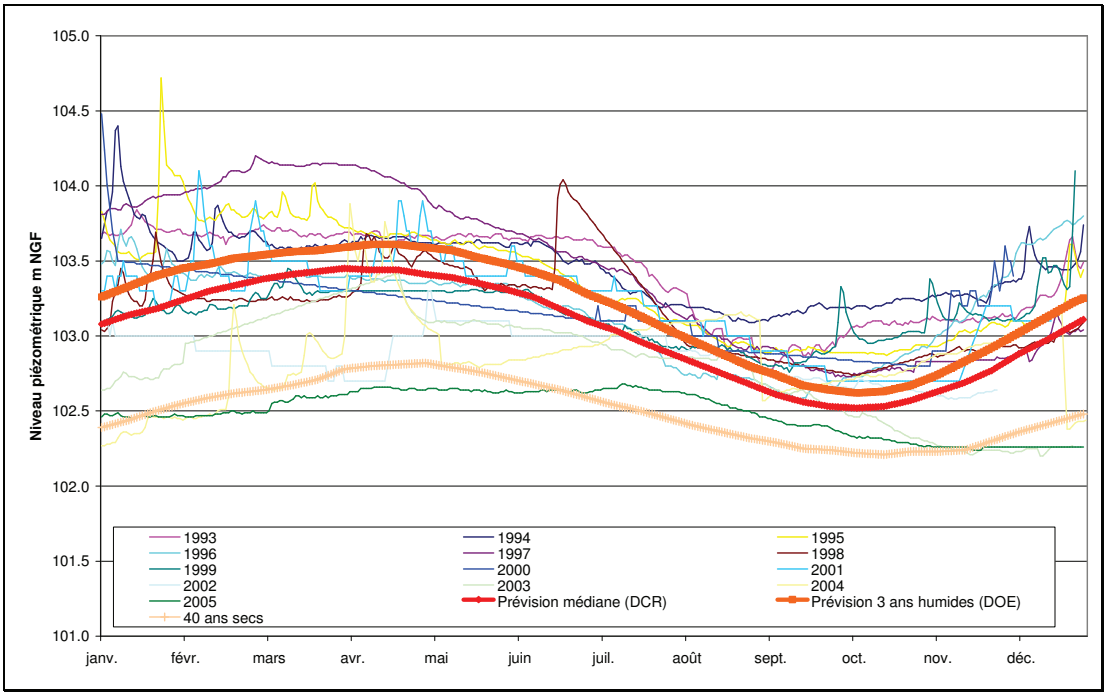


Illustration 18 : Comparaison des courbes théoriques des niveaux avec la chronique de mesures sur un des piézomètres du bassin du Clain.

[Remarque : sur ce bassin de la Boivre la courbe médiane correspond au débit de crise sur la rivière et la courbe 3 ans humide au débit d'alerte].

2.3.5. 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 ou le DSA…) et courbe d'évolution prévisible (ill. 19) à partir de l'état de la ressource au printemps. Pour ce calcul on simule l'impact de prélèvements en nappe sur les débits à travers l'application au modèle d'une fonction.

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 avril, 20 % en mai et juin, 25 % en juillet et août. Ce scénario a été légèrement modifié par rapport à celui utilisé en phase 1 de manière à tenir compte des remarques. Il apparaît plus réaliste.

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 et donc sur ces volumes disponibles.

Il convient aussi de souligner que ces prélèvements ne s'applique que sur la (ou les) nappe(s). Le calcul des volumes disponibles intègre donc l'effet « retard » des

prélèvements en nappe sur l'impact en rivière pris en compte dans la fonction de Transfert. Les prélèvements directement en rivière ne sont donc pas pris en compte dans ces calculs. Toutefois, on peut les considérer comme ayant des impacts quasi instantanés (à l'échelle de travail de la journée) sur les débits, dans un sens comme dans un autre (arrêt des prélèvements).

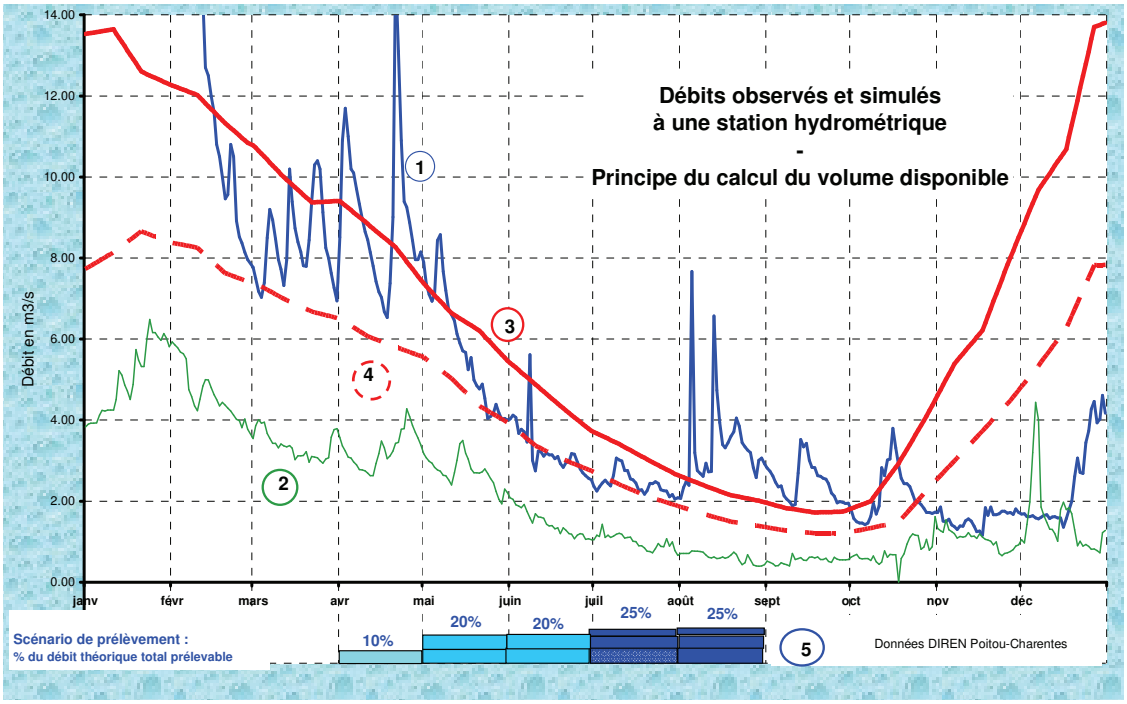


Illustration 19 : Principe de calcul du volume disponible :

①mesures journalières de débit sur année 1:

La courbe 1 présente jusque début mai des débits naturels de l'ordre d'une année légèrement sèche assimilable à la courbe 3 (3 ans secs = débits pouvant être atteints 1 fois tous les 3 ans). Puis les débits baissent, sous l'effet de pompages, et deviennent assimilables à une année plus sèche (courbe 4 : 10 ans secs). Le déficit engendré par l'exploitation estivale se traduit en outre par une avancée de la date d'étiage.

② mesures journalières de débit sur année 2 :

Cet exemple correspond à une année naturellement très sèche (autour de 50 ans secs) durant laquelle il n'y a pas eu de prélèvement du fait des restrictions. Cette année là, l'évolution des débits peut être considérée comme naturelle.

③ et ④ courbes 3 ans et 10 ans secs :

Courbes lissées obtenues par modélisations et analyse statistique correspond à des débits secs pouvant être atteints naturellement 1 fois tous les 3 ans ou 1 fois tous les 10 ans.

⑤ scénario d'exploitation

Le principe de calcul des débits disponibles revient à comparer la courbe prévisionnelle correspondant à la période de retour de l'année en cours (3) et la courbe objectif (4). Les volumes ainsi estimés sont simulés en fonction d'un scénario d'exploitation de manière à ne pas descendre sous le débit d'étiage de la courbe objectif. Cette répartition est primordiale pour le calcul car les débits disponibles ne sont naturellement pas les mêmes si l'on concentre par exemple ces prélèvements sur une plus courte période. En matière de gestion, on est conduit à raisonner statistiquement. Les objectifs du SDAGE étant de pouvoir respecter les objectifs 4 années sur 5, le calcul des débits disponibles se fait donc en comparant la courbe 5 ans secs avec la courbe objectif de période de retour variable en fonction des stations.

2.3.6. Comparaison des volumes disponibles aux volumes prélevés

Le recensement précis des volumes prélevés est une tâche qui reste difficile à réaliser compte tenu du nombre de prélèvements. C'est aussi une préoccupation majeure des gestionnaires. Ces dernières années la mise en place progressive de la gestion volumétrique permet d'améliorer cette connaissance.

Les volumes utilisés dans ce rapport figurent uniquement à titre de comparaison avec les volumes disponibles de manière à évaluer les efforts éventuels à faire pour respecter les objectifs de débit sur les rivières.

Pour **l'Alimentation en Eau Potable** les prélèvements sont relativement bien connus, du moins sur l'année. Les bases de données des Agences de l'Eau, des DDASS et la BSS (BRGM) ont été croisées ces dernières années permettant d'affecter, d'une manière relativement exhaustive, un prélèvement à un captage. Ce sont les données de l'Agence de l'Eau Adour-Garonne (année 2003) qui ont été utilisées dans ce travail.

Ces prélèvements sont considérés comme continus et répartis de manière homogène sur l'année, ce qui peut être globalement vérifié quand on dispose de chroniques mensuelles sur les départements de la Vienne, des Deux-Sèvres ou de la Charente. C'est moins le cas en Charente-Maritime concernée par de fortes variations saisonnières de la population en particulier sur le littoral.

Ces prélèvements sont considérés comme un bruit de fond sur le bassin versant qui, du fait qu'ils n'ont pas un caractère saisonnier, ne peuvent être individualisés par leur impact sur les piézométries ou les débits. Il en découle que les volumes disponibles ne doivent être comparés qu'aux seuls prélèvements saisonniers, c'est-à-dire agricoles. Les chiffres figurent toutefois dans ce rapport à titre indicatif.

Pour **les prélèvements agricoles** les données proviennent du croisement de plusieurs sources :

- Les tableaux de synthèse de la DDAF de la Charente sur les années 2002-2006. Ces tableaux font apparaître des bilans par bassins versants ou unités de gestion.

- Les tableaux figurant dans le Plan de Gestion des Etiages de la Charente (Institution du Fleuve Charente) et se rapportant à des chiffres 2003, plus sèche que l'année 2004 et avec des prélèvements plus importants.

- Les prélèvements annuels communiqués par la DDAF de la Charente-Maritime et correspondant aux déclarations faites à l'Agence de l'Eau.

Ces prélèvements agricoles sont bien évidemment très variables d'une année sur l'autre. Au regard des historiques récents, l'année 2004 peut être considérée comme moyenne.

Là encore, les prélèvements agricoles ne figurent dans ce rapport qu'à titre indicatif, pour les comparer aux volumes calculés par les modèles. **Ils n'ont pas été utilisés dans les calages des modèles et simulations.**

2.3.7. Utilisation des modèles pour la gestion

Une fois calé le modèle peut être utilisé pour estimer, à partir de la situation hydrologique à un instant donné, les niveaux à venir correspondant à différentes hypothèses de pluviométrie.

Partant de l'observation des niveaux des nappes et des rivières en mars/avril, les modèles permettent de simuler les situations en fin d'été en fonction de multiples scénarii de pluie. Ce travail peut être réalisé par les gestionnaires grâce à un environnement informatique EXCEL assez simple à utiliser.

Parallèlement les modèles devront être périodiquement actualisés de manière à améliorer leur fiabilité. Cette procédure de (re)calage est plus complexe à mettre en œuvre.

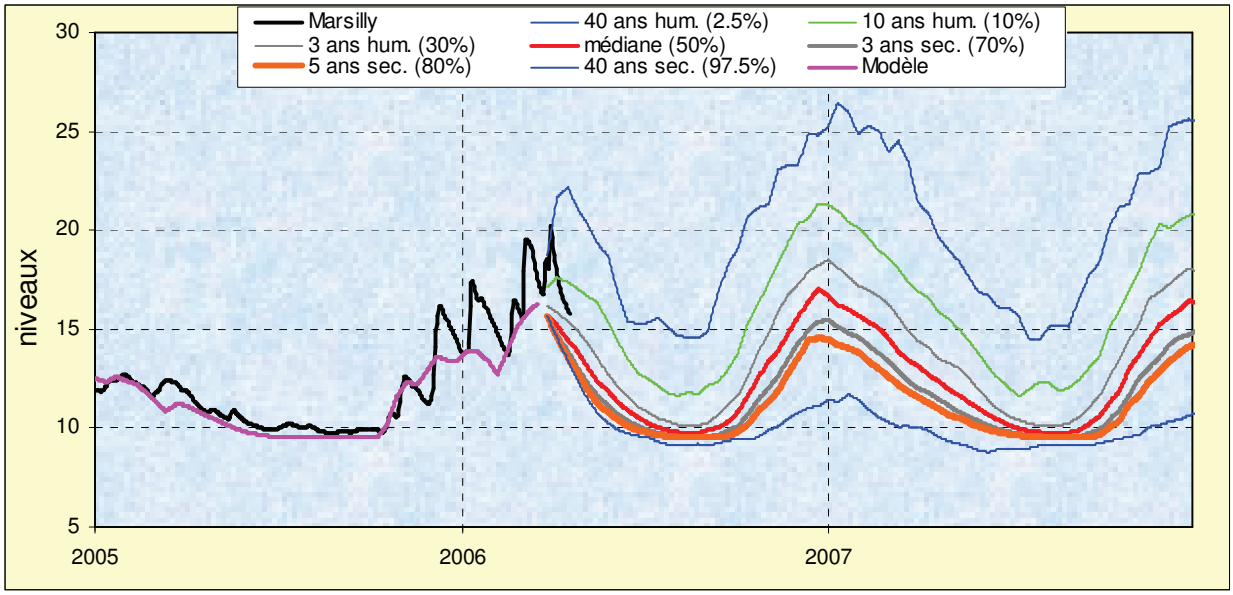


Illustration 20 : Exemple d'utilisation d'un modèle de piézomètre en gestion : dans le cas présent le même niveau piézométrique descendra sous 10 m NGF durant l'été sauf en cas de forte pluviométrie (à partir de 10 ans humides).

3. Contextes géologique et hydrogéologique

Avec une superficie de 10 549 km^2, le bassin versant de la Charente couvre une grande part de la partie nord du Bassin Aquitain. La Charente prend sa source sur le socle du Massif Central et s'écoule jusqu'au littoral en remontant d'abord vers le Nord et le Seuil du Poitou. Avec le bassin de l'Adour au Sud et le complexe de la Garonne, elle constitue l'une des 3 grandes entités hydrologiques du Bassin Aquitain.

De l'amont, avec le socle d'âge Primaire, jusqu'à l'aval avec la morphologie et les dépôts du Quaternaire, elle remonte aussi l'histoire des temps géologiques. La géologie contribue à morceler ce bassin versant en grands ensembles relativement homogène (Illustration 21 et Illustration 22) :

- le socle cristallophyllien à l'extrémité amont,
- le domaine des calcaires du Jurassique moyen (Dogger) et inférieur (Lias),
- les marnes et calcaires du Jurassique supérieur avec principalement les bassins versants de l'Aume-Couture, de la Soloire, de l'Antenne et de la Boutonne,
- le karst de la Rochefoucauld,
- les calcaires et marnes du Crétacé supérieur, avec les bassins versants du Né, de la Seugne, de l'Arnoult.

L'amont

En amont du bassin, le socle est principalement constitué par des séries gneissiques, avec quelques petits massifs de granites, de tonalites et surtout, à l'extrémité méridionale, l'impactite de la météorite de Rochechouart. Les terrains de socle peuvent contenir des nappes superficielles dans la zone d'altération et de fracturation. Les altérites étant souvent argileuses, les stocks d'eau souterraine ne sont pas importants et le ruissellement sur ce substratum est prépondérant, ce qui explique un réseau hydrographique dense et bien réparti. Ce bon drainage du socle se matérialise par une forme en éventail du bassin versant à l'amont de Suris.

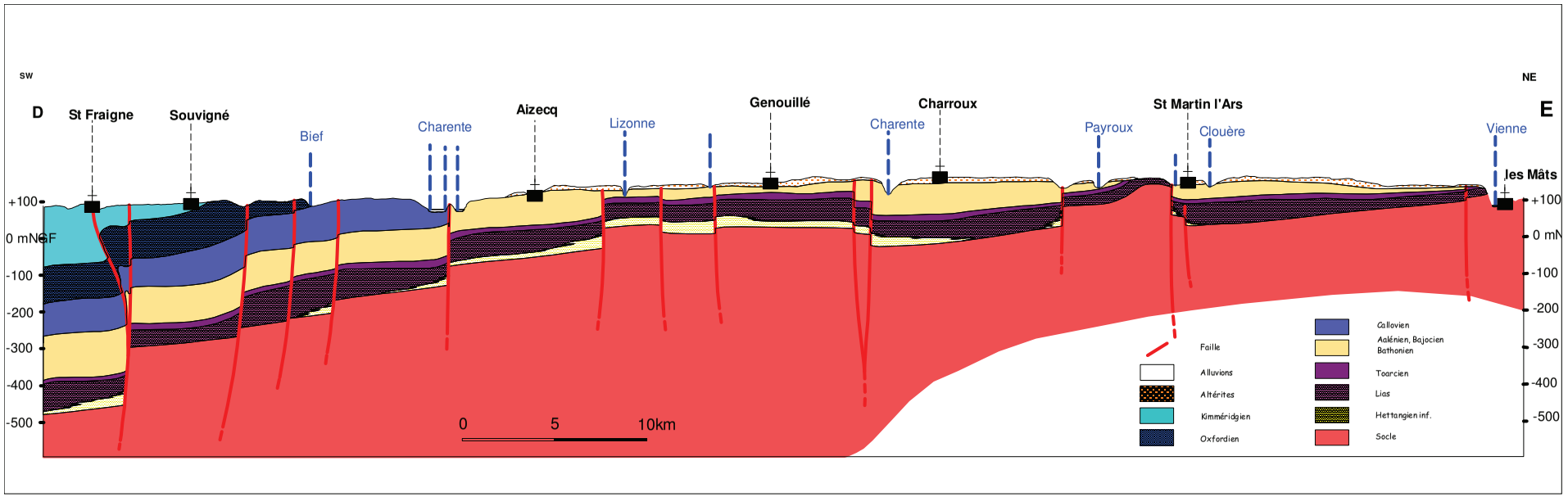


Illustration 21 : Coupe géologique à travers la partie amont du bassin versant de la Charente

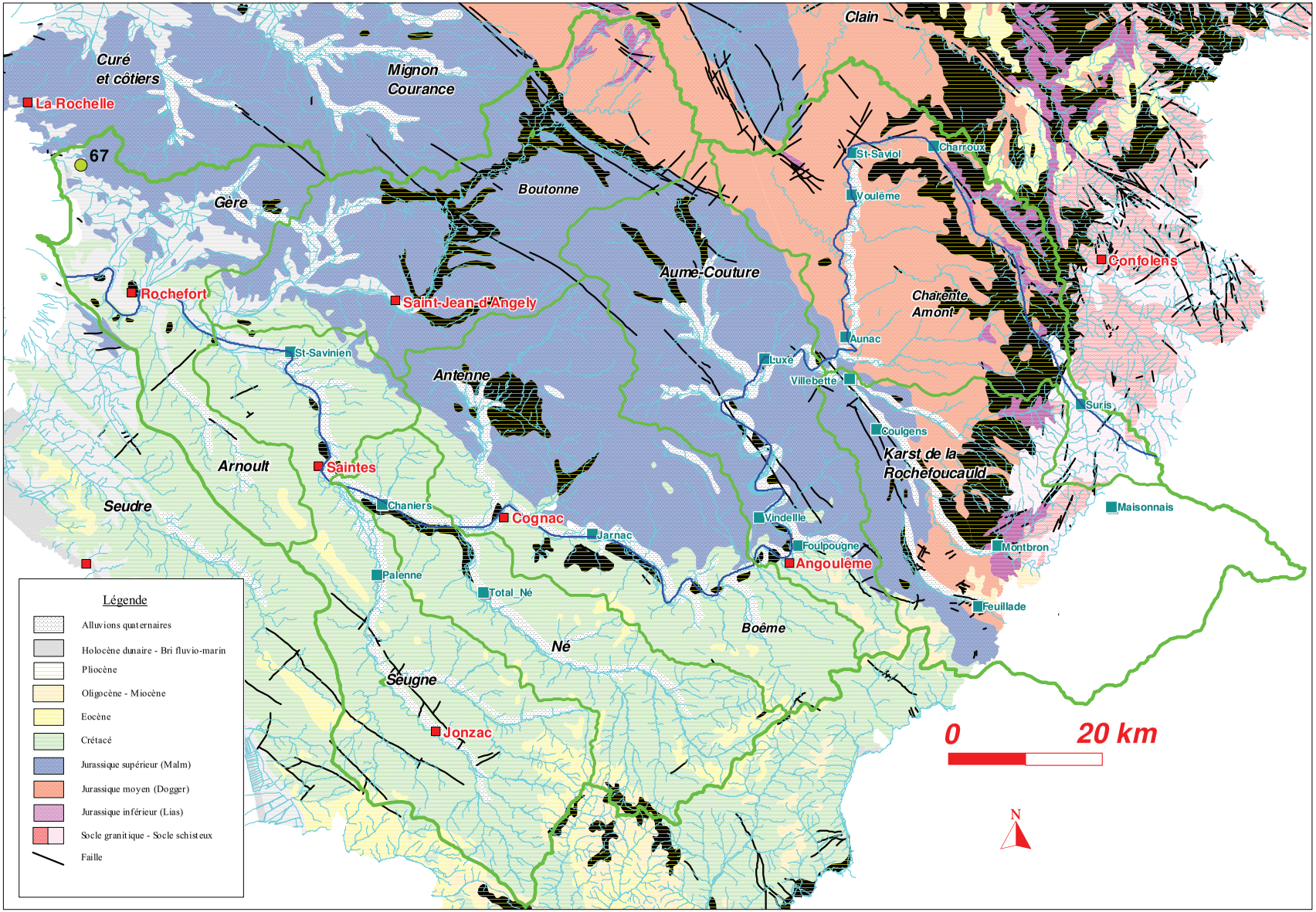


Illustration 22 : Carte géologique du bassin versant de la Charente (géologie sur la partie en Poitou-Charentes uniquement)

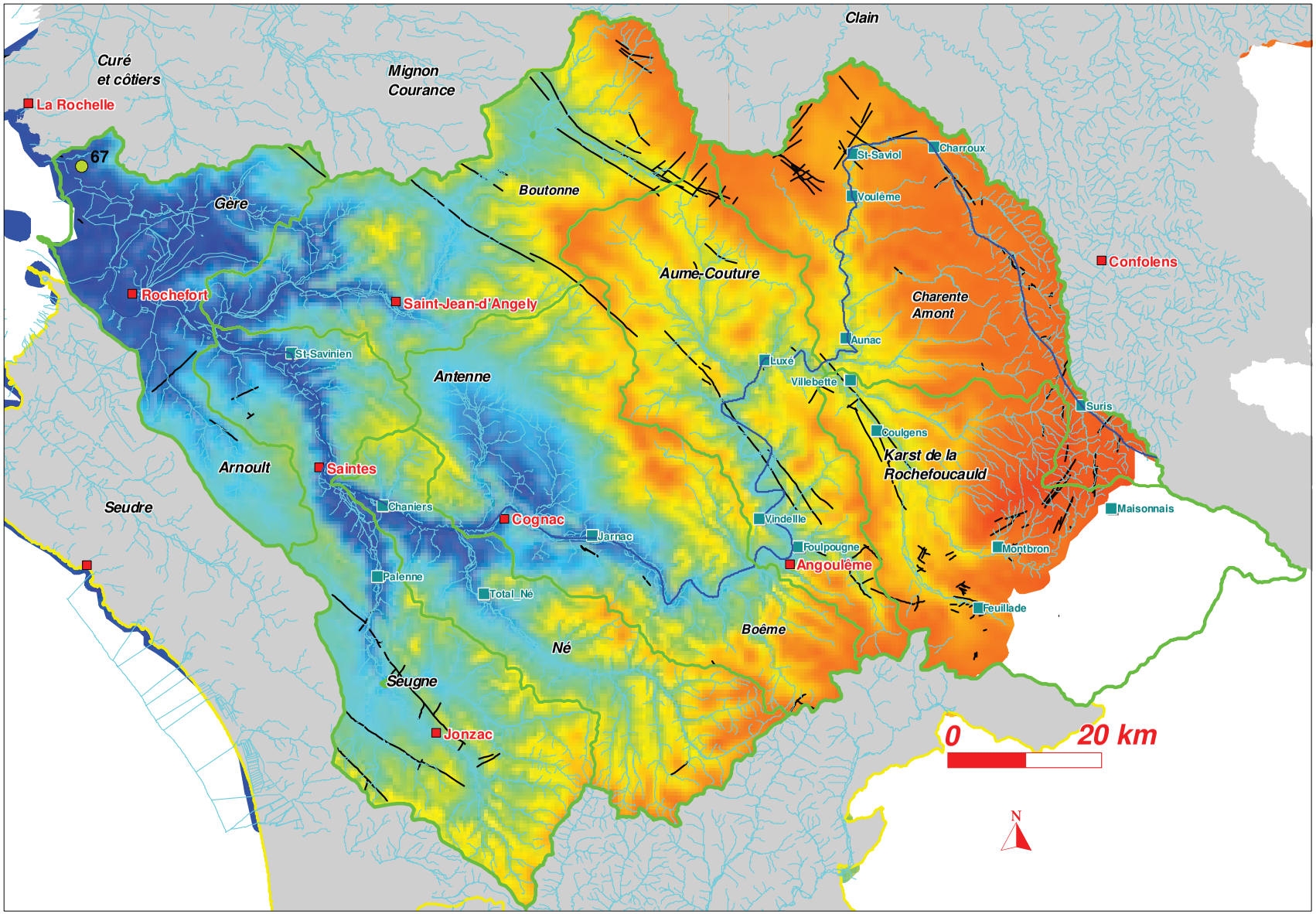


Illustration 23 : Bassin versant de la Charente sur Modèle Numérique de Terrain (IGN) traité

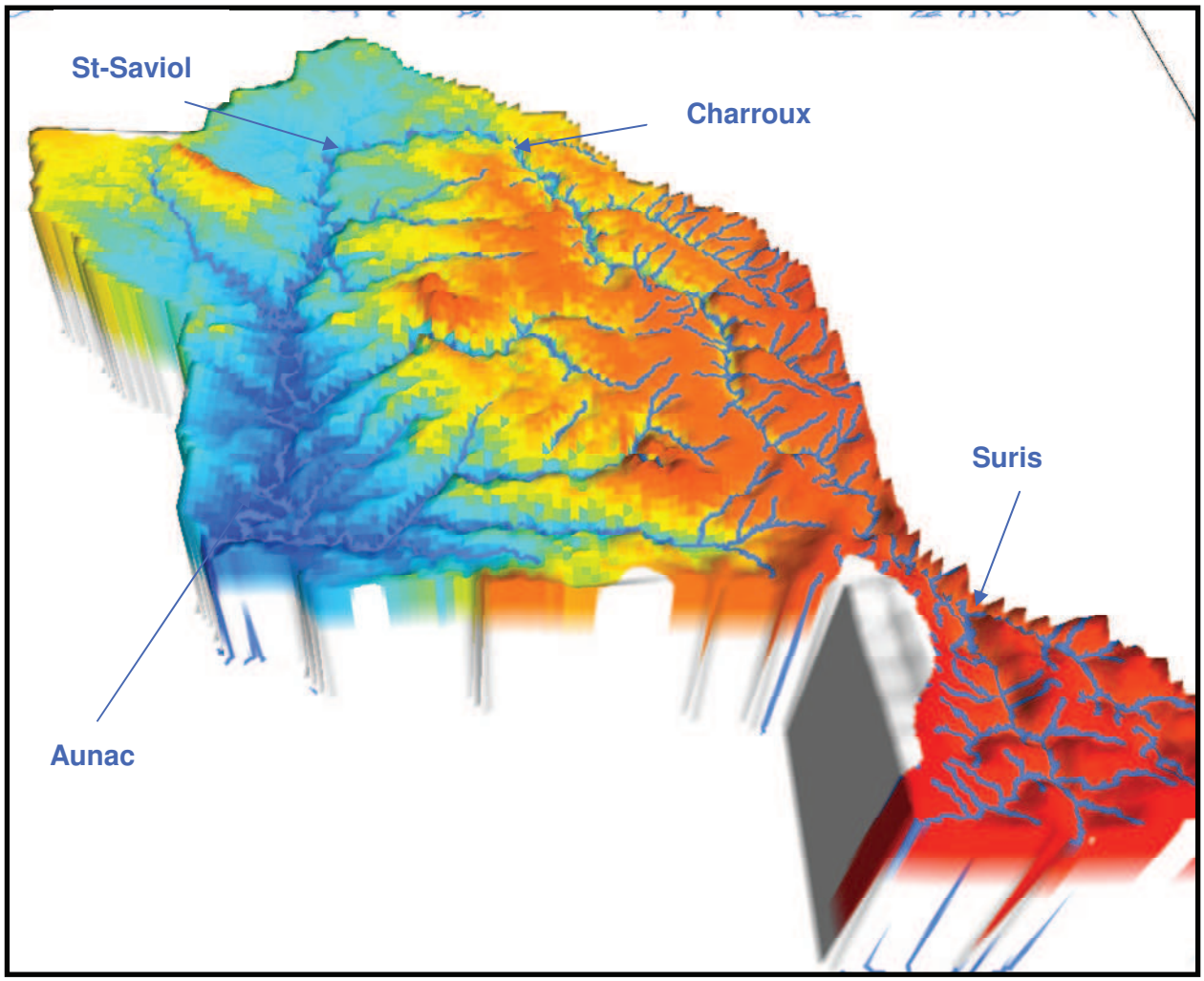


Illustration 24 : Bloc-diagramme de la partie amont de la Charente avec positionnement des stations hydrométriques.

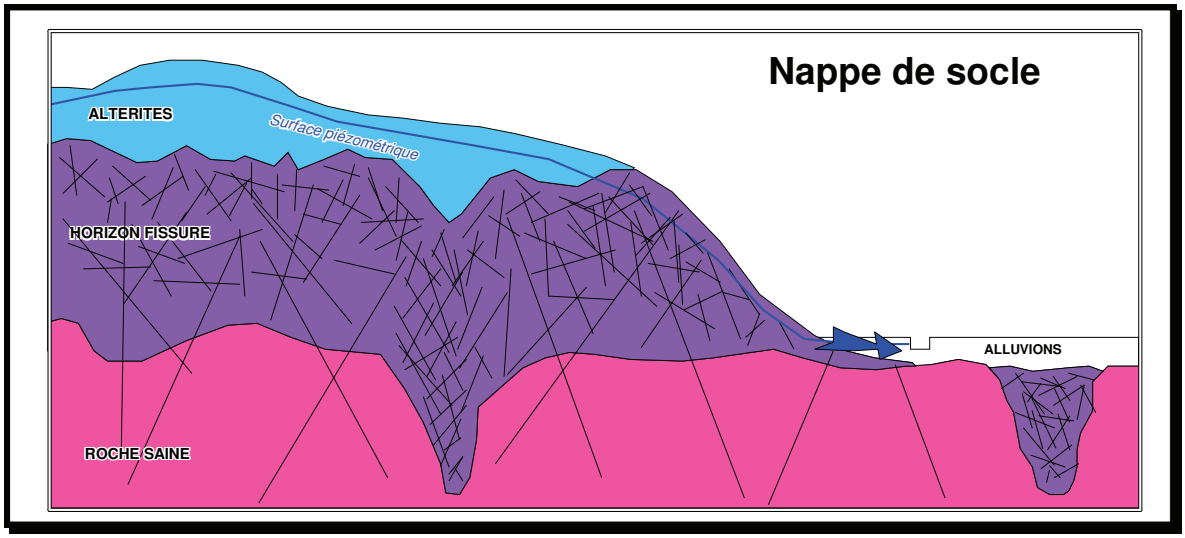


Illustration 25 : Schéma illustrant les nappes d'altération du socle.

De Suris à Aunac

Sur le socle, le Lias et l'Infra-Lias sont composés à la base de terrains détritiques (sables et argiles), puis de formations dolomitiques, calcaires et gréseuses traduisant la complexité des milieux de dépôts à cette époque, en marge de reliefs émergés progressivement envahis par la mer. L'épisode transgressif atteint son paroxysme au Toarcien avec le dépôt de faciès marneux. Au-dessus, la sédimentation devient de plus en plus calcaire avec l'installation d'une plate-forme carbonatée au Jurassique moyen (Dogger).

A la sortie du socle, la Charente s'écoule (cf Planche 1 en annexe), vers le Nord jusque dans les environs de Charroux, sur le Lias dont les formations calcaréo-dolomitiques renferment un aquifère plus ou moins karstique. Cet aquifère s'enfonce vers l'Est sous les marnes toarciennes qui le protègent et le maintiennent captif. Le réseau hydrographique est là de densité moyenne.

De Charroux jusqu'à Aunac, la Charente circule dans le Dogger. Celui-ci correspond à un important aquifère, en général libre et très karstifié. Les circulations souterraines sont rapides dans des conduits parfois de taille importante. L'aquifère correspond principalement au Bathonien-Bajocien, le Callovien étant plus marneux. Dans cet aquifère les limites des bassins versants souterrains ne correspondent pas en général aux limites du bassin topographique. Toutefois, entre Clain et Charente les limites des eaux de surfaces et des eaux souterraines coïncident à peu prés.

Au-dessus de ce réservoir karstique, les altérites sablo-argileuses peuvent stocker provisoirement de l'eau, libérée progressivement vers l'aquifère du Dogger. La présence de réseaux karstiques est soulignée en surface par de nombreuses figures de dissolution : dolines, gouffres… ; ces figures se marquent particulièrement bien dans la couverture d'altérites affectée par de vastes dépressions circulaires caractéristiques.

Les ouvrages de prélèvement sont nombreux et répartis d'une manière assez homogène dans la nappe de l'Infra-Toarcien et dans le Dogger. Les eaux des formations superficielles altéritiques peuvent aussi être captées par puits peu profonds.

Souvent relativement profonds (plus de 100 m), les ouvrages au Dogger peuvent donner des débits importants, parfois jusqu'à 200 m^3/h. D'une grande vulnérabilité et d'une qualité médiocre vis à vis des nitrates et des phytosanitaires, la nappe du Dogger est souvent exploitée pour l'Alimentation en Eau Potable en mélange avec l'eau de l'Infra-Toarcien. Bien protégée, cette dernière nappe présente une bonne qualité vis à vis des pollutions anthropiques mais en revanche contient naturellement des éléments indésirables (fluor) en teneur excessive.

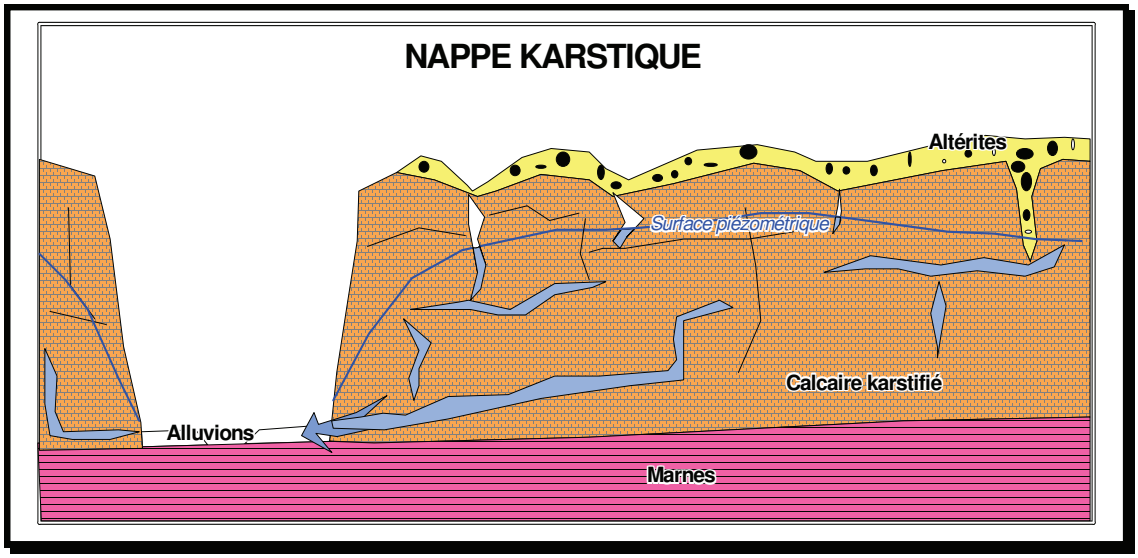


Illustration 26 : Schéma illustrant l'écoulement de la Charente sur les marnes toarciennes et de part et d'autre la nappe karstique du Dogger sous sa couverture d'altérites.

D'Aunac à Angoulême

Venant au-dessus du Dogger, et rencontré à l'affleurement à partir de Mansle, la puissante série du Jurassique supérieur est composée par l'alternance de termes marneux et de termes plus calcaires. Le Jurassique supérieur débute avec les *Marnes gris bleu à ammonites pyriteuses* (10 m environ). Cette sédimentation calme pélagique se poursuit par la formation *de Marnes à spongiaires* (30 m environ de marnes grises à noires à biohermes à spongiaires) d'âge Oxfordien moyen à supérieur pro-parte qui passe latéralement à des calcaires argilo-glauconieux. Au-dessus, la série se poursuit avec la *Formation de Marans* (marnes grisâtres et calcaires beiges) et les *Calcaires blancs de Fors* (calcaires fins) sur 35 à 40 m d'épaisseur.

Le passage au Kimméridgien inférieur se fait par l'intermédiaire d'une trentaine de mètres de calcaires micritiques argileux, entrecoupés de niveaux de marnes grises feuilletés (*Formation de Villedoux*). Au-dessus, la *Formation des Calcaires d'Esnandes* correspond à une puissante série (plus de 50 m) monotone de calcaires fins plus ou moins argileux à joints marneux et à stratification souvent ondulée donnant un délit noduleux à lenticulaire. La série du Kimméridgien inférieur se poursuit par une puissante sédimentation calcaire comprenant du bas vers le haut :

- calcaires fins beige, plus ou moins durs et compacts, plus ou moins argileux, à interlits marneux bien marqués (20 à 40 m d'épaisseur).
- *Marnes et calcaires argileux à Lamellibranches* (40 m environ).
- calcaires blancs crayeux (plus de 50 m). Ces calcaires sont disposés en bancs de 10 à 40 cm d'épaisseur, avec des interlits marneux centimétriques.

La série du Kimméridgien supérieur, épaisse de plus de 100 m, comporte un terme inférieur à prédominance argileuse (*Calcaire argileux et Marnes à Exogyres*, 60 à 70 m), et un terme supérieur plus carbonaté formé d'une alternance de calcaires bioclastiques en bancs compacts, de calcaires argileux et de marnes.

Cette puissante série du Jurassique supérieur (jusqu'à 500 m d'épaisseur), sur laquelle s'écoulent le Bief, l'Aume et la Couture, l'Auge, l'Argence et la Charente, est donc formée principalement de calcaires marneux peu perméables. Il s'y développe toutefois une frange d'altération et de fissuration superficielle qui contient une nappe. La base de cet aquifère superficiel, qui dépasse rarement 30 m d'épaisseur, est constituée par un niveau compact, imperméable, caractérisé par une couleur bleue d'où l'appellation commune de "banc bleu". Ce niveau aquifère recoupe l'ensemble des séries calcaréo-marneuses du Jurassique supérieur. Les nombreux ouvrages qui captent cet aquifère ont en général une profondeur inférieure à 50 m. Cependant, localement, la fracturation et/ou des faciès plus calcaires peuvent favoriser le développement de ressources plus profondes.

Cet aquifère superficiel est en relation étroite avec les rivières et ne renferme pas d'importante réserve. Les nombreux forages d'exploitation sont principalement répartis dans les vallées. La fissuration en revanche induit une perméabilité en général élevée favorisant l'évacuation des eaux. La nappe ne permet donc pas un soutien efficace des rivières en période d'étiage.

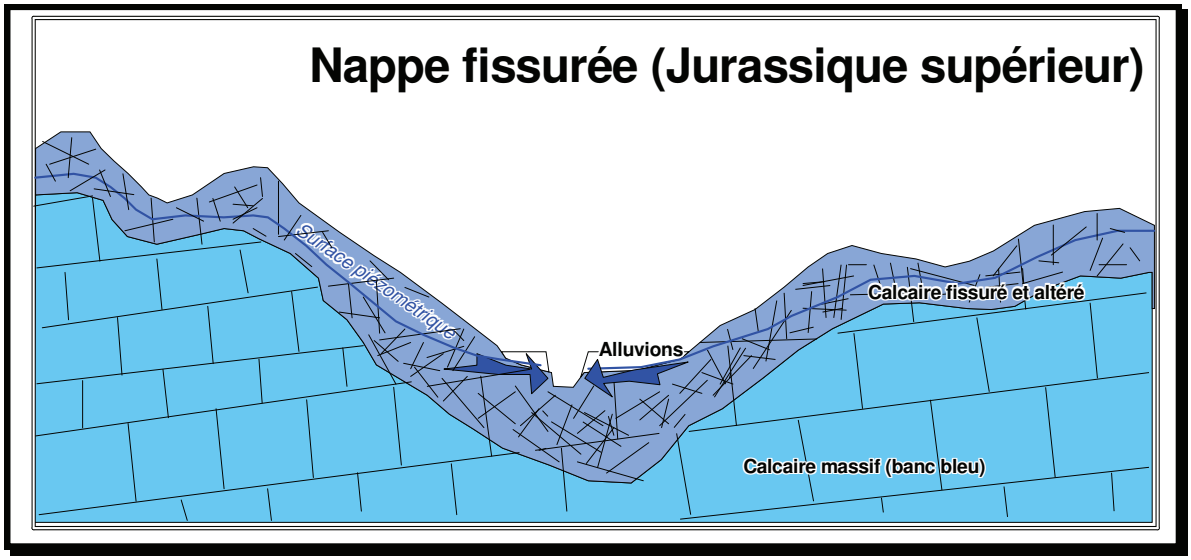


Illustration 27 : Schéma illustrant la nappe de la frange superficielle d'altération et de fissuration du Jurassique supérieur calcaréo-marneux.

Le karst de la Rochefoucauld

Au Nord d'Angoulême, arrive un affluent de la Charente en rive gauche, la Touvre, alimenté par une importante résurgence du karst de la Rochefoucauld. Ce karst se développe depuis le Son-Sonnette au Nord jusqu'à l'Echelle au Sud.

C'est une singularité géologique du fait que les terrains du Jurassique moyen et du Jurassique supérieur qui le constituent correspondent à des faciès récifaux ou périrécifaux. Ces systèmes récifaux, en marge de reliefs émergés situés à l'Est (Massif Central), ont perduré pendant une longue période à la faveur d'un haut fond lié à de grands accidents dont le prolongement méridional de la faille transverse de Parthenay.

L'épaisseur totale des calcaires est de l'ordre de 500 m au niveau des sources. La karstification y est très développée avec des effondrements (dans la Forêt de la Braconne notamment) d'importantes dimensions rappelant les figures observées dans les grandes zones karstiques à travers le Monde. La Tardoire, le Bandiat et la Bonnieure se perdent dans la nappe, en totalité pour les deux premières pendant l'été, ou en partie, dès qu'elles pénètrent dans les terrains du Dogger. Le réseau hydrographique, dense en amont sur le socle, devient très faible, voire inexistant pendant l'été, sur le massif karstique. Les écoulements se font en souterrain, dans un réseau développé, à des vitesses dépassant souvent 100 m/h. Les rivières sont en règle générale perchées (parfois de plusieurs dizaines de mètres) par rapport à la nappe.

Les sources de la Touvre (et de la Lèche très proche) constituent quasiment le seul exutoire de ce karst. Seconde source de France par son débit, on estime que l'apport des rivières représente environ 70 % de son alimentation. Signalons que, si le Bandiat et la Tardoire se perdent intégralement dans la nappe (ces 2 rivières ne s'écoulent jusqu'à la Charente qu'en période de crue), le fonctionnement de la Bonnieure est plus complexe. Elle ne perdrait une partie de son eau vers la Touvre qu'en période de basses eaux. En période de hautes eaux, il existe une crête piézométrique entre la Tardoire et la Bonnieure.

Les écoulements de cette nappe se font globalement d'Est en Ouest. Les eaux souterraines sont bloquées à l'Est, du moins en partie, par les faciès marneux du Jurassique, et remontent à la faveur de la fracturation (Illustration 28). Le conduit de la source principale de la Touvre peut se visiter sur plus de 140 m de profondeur.

Une synthèse récente du BRGM propose de retenir pour les sources de la Touvre et le massif karstique :

- 470 km^2 pour le bassin d'alimentation directe et 1200 km^2 pour le bassin total,
- 350 Mm^3 en moyenne par an qui transitent par les sources,
- 20 Mm^3 prélevés en moyenne par an dans le massif karstique, à peu prés à part égale entre l'AEP et l'agriculture,
- 5000 t par an d'azote sortant par les sources et 15000 t de calcaire dissous par an.
- 10 à 15 mg/l de nitrates aux sources (stable depuis 20 ans) et 25 mg/l en moyenne dans le karst, ce qui montre l'importance de la contribution des eaux superficielles moins chargées en nitrates.

Dans le karst les valeurs de transmissivité calculées s'étalent de 10-4 à plus de 10-2 m^2/s, traduisant l'hétérogénéité de l'aquifère. Les valeurs d'emmagasinement calculées par les différents auteurs donnent également une fourchette très grande, de 10 % (calculés à partir des vides relevés sur les forages) à moins de 1 %. Ces incertitudes montrent les difficultés d'estimer, même de manière approchée, le volume des stocks souterrains.

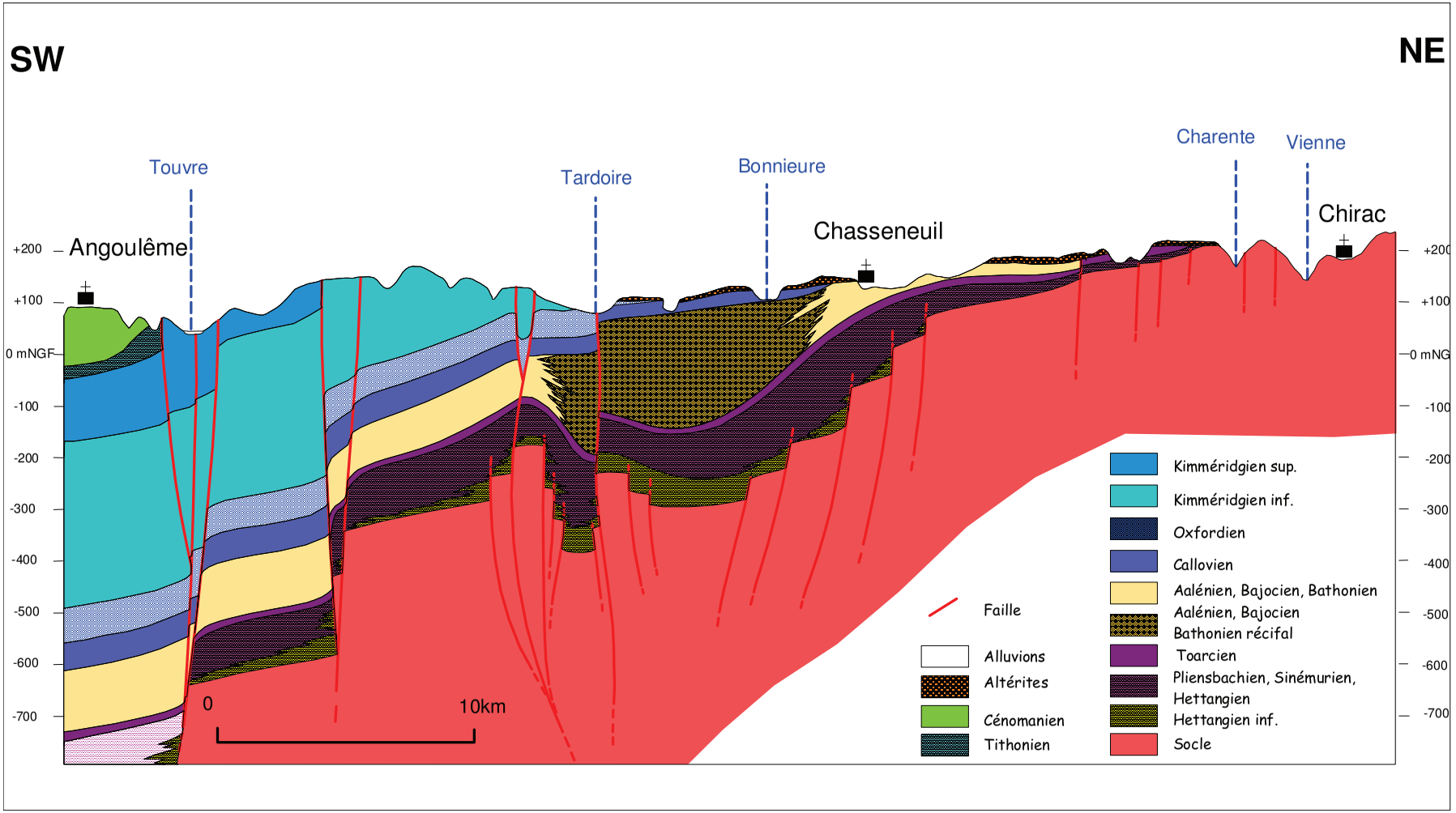


Illustration 28 : Coupe géologique à travers le karst de la Rochefoucauld

D'Angoulême à Cognac

Ce tronçon du bassin versant de la Charente est géologiquement et physiquement divisé en 2 parties. Au Sud, en rive gauche de la Charente, les reliefs sont formés par les formations du Crétacé supérieur, qui constituent le flanc nord du synclinal de Saintes. Les nombreux cours d'eau latéraux, à petits bassins versants du fait de pentes fortes, drainent ces formations crétacées : les Eaux Claires, le Charreau, la Boême, le Claix, la Vélude, l'Anque, le Gensac… Au Nord, en rive droite, les bassins versants de la Nouère, la Guirlande, la Soloire, l'Antenne et la Rouzille… sont installés dans les formations du Jurassique supérieur.

A l'extrémité amont du bassin de l'Antenne, le Kimméridgien affleure à travers de puissantes séries (de l'ordre de 200 m d'épaisseur) de calcaires bioclastiques à récifs puis de calcaires argileux et de marnes. Au-dessus, le Tithonien est constitué par une assise de calcaires bioclastiques et oolithiques (plus de 20 m d'épaisseur) à passées sableuses et gréseuses. La succession tithonienne se poursuit par des calcaires argileux, des calcaires fins et des calcaires marneux sur une épaisseur dépassant 50 m. Dans ces faciès témoins de la régression fini-jurassique, les passages latéraux sont rapides. Le Tithonien supérieur est caractérisé par une série de calcaires en plaquettes centimétriques, fréquemment laminés et à petites vacuoles. Cette sédimentation passe à des argiles et marnes de colorations diverses à lentilles de gypse du faciès "Purbeckien". Ces faciès laguno-saumâtres annoncent l'émersion fini-jurassique. Le domaine reste émergé jusqu'au Crétacé supérieur.

Le Cénomanien correspond en effet au début d'un cycle transgressif qui conduit à la mise en place durant tout le Crétacé supérieur d'une plate-forme carbonatée. Il vient recouvrir un modelé jurassique façonné par une longue phase d'érosion et d'altération. La base du Cénomanien est constituée de niveaux argileux et sableux (une dizaine de mètres d'épaisseur), à stratifications obliques, alternant plusieurs épisodes sableux, parfois grossiers, avec des argiles noires. Le Cénomanien se poursuit par une dizaine de mètres de sables calcareux, de grés, puis de calcaires de moins en moins détritiques. Le Cénomanien moyen est entièrement carbonaté : calcaires massifs, cristallisés, bioclastiques ou graveleux. Au Cénomanien supérieur s'installe une sédimentation plus marneuse et argileuse qui se poursuivra au Turonien inférieur.

Le Turonien moyen et supérieur correspond à une puissante série de calcaires, souvent bioclastiques ou gréseux. Le maximum de transgression est atteint au Turonien supérieur. Après un épisode régressif, le Coniacien débute avec un nouvel épisode transgressif. Sa base est donc marquée par des termes gréseux, parfois épais comme à Cognac. Il se poursuit par des niveaux calcaires de plus en plus marneux. Au Santonien s'installe une sédimentation calcaréo-marneuse, assez monotone, qui perdurera au Campanien.

Au Sud, à la limite du bassin versant, les reliefs sont coiffés par des dépôts sablo-argileux continentaux du Tertiaire. Dans les vallées, on trouve des terrasses alluviales plus ou moins argileuses et des alluvions récentes.

La géologie est responsable de la morphologie de cette partie du bassin versant de la Charente. Au Sud, le Crétacé forme des reliefs assez pentus. La Charente se fraye un chemin à travers les barres calcaires qui traversent la vallée. Au Nord, le Kimméridgien et dans une moindre mesure le Tithonien forme des reliefs modérés. En revanche, le Purbeckien constitue une dépression presque plate, le "Pays Bas Charentais ».

D'un point de vue hydrogéologique, à l'image du bassin versant de l'Aume-Couture, le Jurassique supérieur renferme une nappe, assez peu productive, contenue dans une frange superficielle d'altération et de fissuration. Cette nappe s'écoule selon la topographie. Elle est en relation étroite avec les rivières, qu'elle contribue à alimenter ou inversement, en général en basses eaux, dont elle reçoit les pertes. Assez transmissive et peu capacitive, elle ne permet pas le stockage d'importante quantité d'eau et les rivières de ces secteurs connaissent en général des étiages difficiles. La frange d'altération étant plus développée dans l'axe des vallées qui concentre aussi les eaux souterraines, les ouvrages d'exploitation sont principalement répartis le long des rivières. Le réseau hydrographique est peu dense sur ce Jurassique. Ce schéma général connaît toutefois des particularités. La base du Tithonien (calcaires bioclastiques et grés) développe des meilleures propriétés réservoir, avec des aquifères plus profonds mais qui restent toutefois modérément productifs. A l'inverse, le Purbeckien argileux et marneux est globalement imperméable, et constitue ce "Pays Bas" où le réseau hydrographique est plus dense et où les cours d'eau se mettent à divaguer et à se ramifier. Au-dessous de ce Purbeckien, l'aquifère jurassique est maintenu captif.

En rive gauche de la Charente, les sables et les calcaires du Cénomanien forment un réservoir assez productif, qui se prolonge en profondeur. Le Turonien et le Coniacien calcaire correspondent à l'aquifère le plus important de ce secteur méridional. Cet aquifère karstique donne naissance à d'importantes sources, aux débits pérennes, qui viennent alimenter les rivières de la rive gauche de la Charente. Cette nappe s'écoule globalement vers la Charente à partir d'une crête piézométrique correspondant à peu prés à la limite avec le bassin versant du Né. La nappe est non seulement alimentée par les eaux qui tombent sur l'impluvium correspondant aux affleurements de Turonien-Coniacien, mais aussi par percolation des eaux à travers la couverture calcaréo-marneuse (Santonien-Campanien) de l'aquifère. Cette percolation est aidée par la fracturation.

Sur le Turonien-Coniacien la densité du réseau hydrographique est assez faible. Il devient plus dense à l'amont sur les formations du Santonien-Campanien. Comme pour le Jurassique supérieur, mais de manière nettement moins développée, il existe une nappe superficielle dans ces formations marneuses, altérées et fissurées en surface. L'aquifère du Turonien-Coniacien est exploité dans ses parties libres comme dans son domaine captif principalement situé au Sud de ce bassin.

En profondeur, les ressources sont assez mal connues. Quelques ouvrages permettent d'exploiter le Dogger ou l'Infra-Toarcien. Toutefois, ces nappes profondes, quand elles existent, sont difficilement renouvelées, trop chaudes et minéralisées, pour constituer des ressources réellement intéressantes en dehors d'une exploitation thermale ou géothermique.

De Cognac à Rochefort

A partir de Cognac, la Charente pénètre dans les formations du Crétacé supérieur structurées là en un synclinal d'importance régional, le synclinal de Saintes, dont l'axe est orienté Nord-Ouest/Sud-Est avec un pendage dans cette dernière direction. Cette structure est héritée de la tectonique alpine et succède à un anticlinal, l'anticlinal de Jonzac qui se développe au Sud-Ouest, entre la Charente et la Gironde. Le cœur du synclinal est formé de terrains de plus en plus récents vers le Sud-Est (fin du Crétacé supérieur, Tertiaire) alors que les bordures du synclinal et le cœur de l'anticlinal de Jonzac sont constitués par des terrains de la base du Crétacé supérieur (Cénomanien).

Après Cognac, la Charente suit à peu prés l'axe du synclinal de Saintes. Elle reçoit en rive gauche d'importants affluents : le Né dont le bassin versant est dans le cœur du synclinal, la Seugne dont la partie amont est dans le cœur de l'anticlinal de Jonzac et l'Arnoult qui circule sur le flanc nord de l'anticlinal.

A l'amont des bassins du Né et de la Seugne, on trouve des terrains sablo-argileux qui coiffent les reliefs et sont globalement peu perméables. En revanche ils peuvent emmagasiner beaucoup d'eau et constituer de petites nappes d'intérêt local. En plus des nombreux étangs que l'on trouve sur les terrains argileux, le réseau hydrographique y est dense.

Le Né circule principalement dans les formations marneuses du Santonien et du Campanien. En surface se développe une nappe d'altération, peu productive et en relation avec les rivières. En profondeur la nappe du Coniacien-Turonien est reconnue et exploitée par plusieurs ouvrages. La contribution de cette nappe au débit des cours d'eau par remontée des eaux profondes à la faveur des failles est soupçonnée mais moins évidente que pour les bassins de la Tude et de la Dronne plus à l'Est.

A l'amont, la Seugne et ses affluents circulent sur les formations marneuses du Santonien-Campanien, puis de Jonzac jusqu'à Pons, à la traversée de l'anticlinal, sur les formations karstiques du Turonien-Coniacien. Cette zone correspond à une partie plate, encadrée par 2 grandes failles et fermée à l'aval (à Pons) par une barrière constituée par les marnes santoniennes et dans laquelle la rivière s'est créé un passage. A l'amont de Pons plusieurs sources émergent du Turonien soulignant que cette nappe vient significativement contribuer au débit des cours d'eau. Ensuite, jusqu'à sa confluence avec la Charente, la Seugne s'écoule de nouveau sur un substratum marneux pauvre en ressources souterraines, du moins superficielles.

L'Arnoult est sur la quasi-totalité de son cours en contact direct avec la nappe du Turonien. Les piézométries de référence réalisées en 2001 traduisent le drainage de cette nappe par la rivière.

La Charente à partir de Saintes ainsi que ses affluents en rive droite (Coran, Bourru…) coulent sur les terrains du Cénomanien au Coniacien. Ces cours d'eau sont donc là en relation étroite avec les nappes que ces terrains renferment.

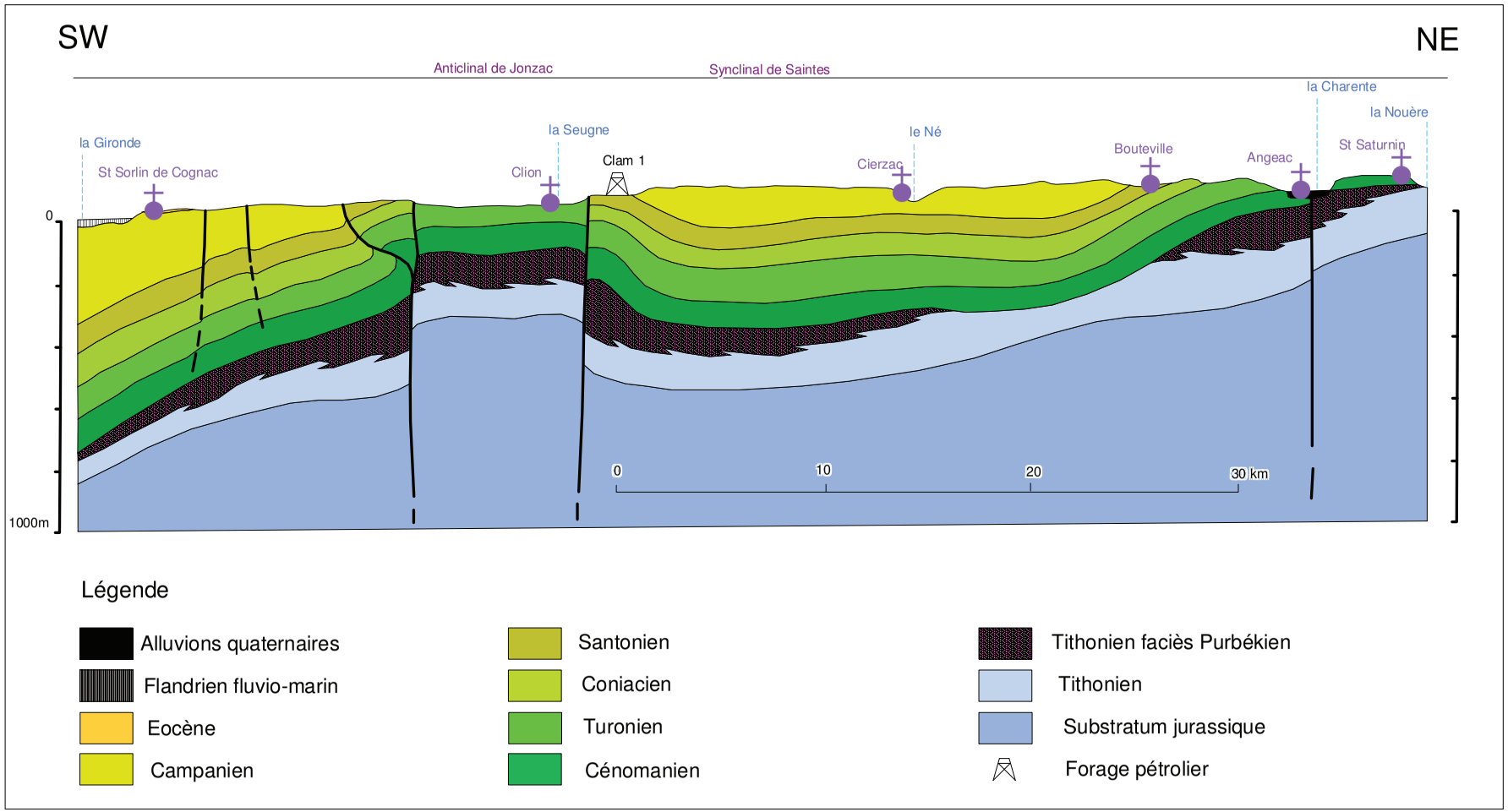


Illustration 29 : Coupe géologique à travers le synclinal de Saintes et l'anticlinal de Jonzac

La Charente aval

De la confluence avec la Boutonne (bassin versant étudié en phase 1) à l'embouchure, la Charente circule sur des terrains argileux (Bri) mis en place au Quaternaire récent.

Au Quaternaire, la ligne de rivage est très éloignée de la côte actuelle. Les cours d'eau entaillent dans le substratum calcaire des vallées (morphologie de ria) dans lesquelles ils déposent des terrasses alluviales sableuses et graveleuses. A la fin de la dernière glaciation du Wurm (vers –12 000 ans), la mer revient (transgression flandrienne) dépassant même largement la limite actuelle. Enfin, à partir de –6400 BP, les rias se comblent progressivement avec une sédimentation progradante principalement argileuse (Bri). Selon une étude BRGM, de par cette histoire quaternaire, le marais de Rochefort se diviserait en 2 secteurs : une zone orientale, correspondant à la paléo-vallée de la Devise, où le Bri est épais (supérieur à 20 m), et une zone occidentale (secteur d'Yves) où les épaisseurs de Bri dépassent rarement 15 m. Emergeant du Bri, on trouve des îlots à matériel d'âge Jurassique ou Crétacé.

Le Bri est le siège d'un réseau hydrographique très dense correspondant aux zones de marais. De part et d'autre du Bri, on trouve à l'embouchure de la Charente les terrains aquifères du Cénomanien au Coniacien.

Au Nord le marais de Rochefort est limité par les affleurements de Jurassique supérieur (Kimméridgien) constitués par une puissante série de calcaires plus ou moins marneux : calcaires d'Aytré et calcaires bioclastiques, marnes et oolithes de Châtelaillon, marnes à Nanogyres, calcaires à Aspidocéras et calcaires argileux. Le Tithonien et son faciès purbeckien n'affleurent pas dans cette partie du bassin versant. Il apparaît au Sud-Ouest de Rochefort, au cœur de la structure anticlinale. Il a disparu du fait de l'érosion qui a prévalu durant la longue période d'émersion qui a suivi le Jurassique supérieur.

Dans cette partie nord, qui correspond entre autre au bassin de la Gère, on trouve, dans la zone altérée superficielle du Kimméridgien, une nappe en relation avec les cours d'eau à l'image de ce qui a été décrit dans les bassins précédents.

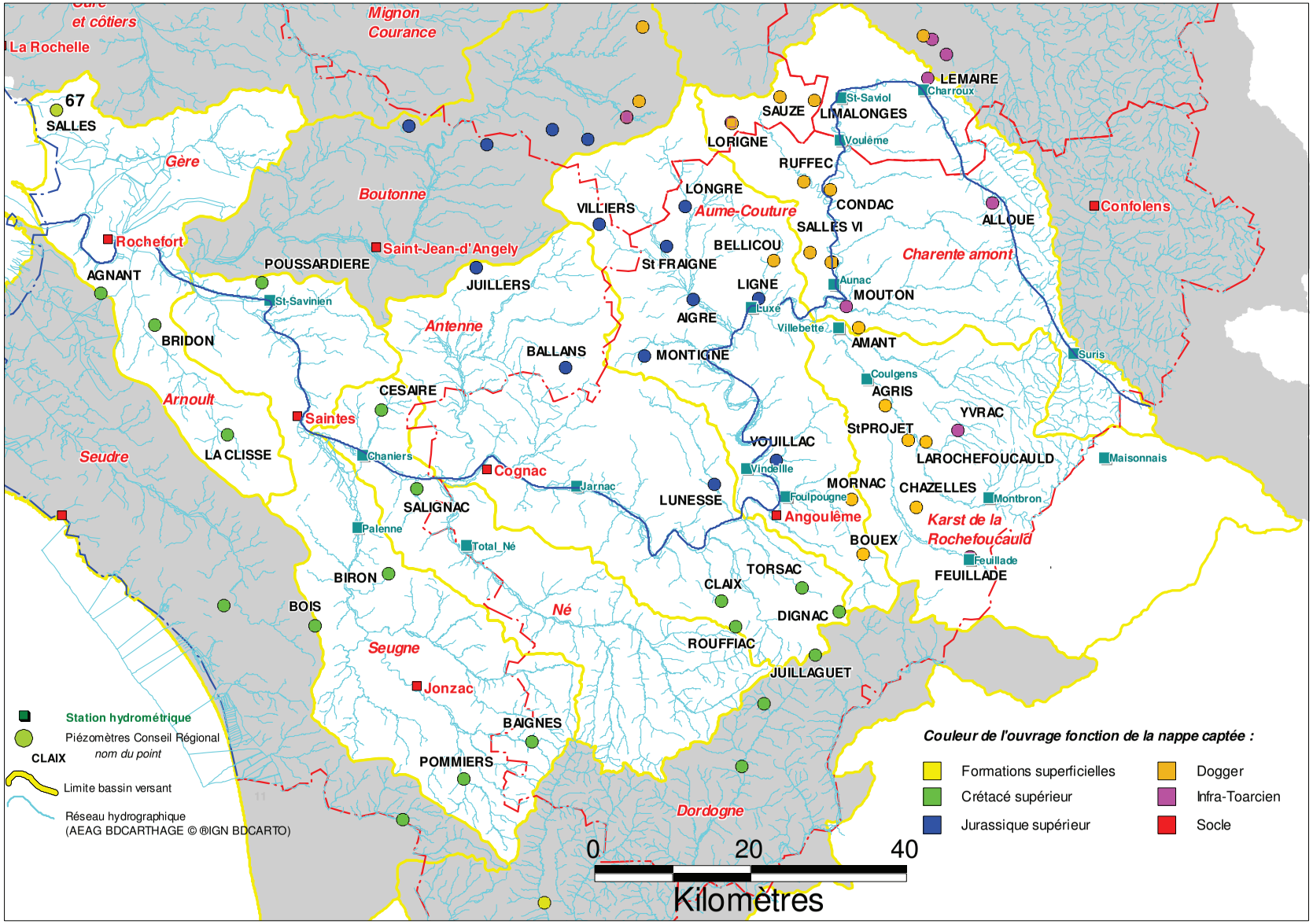


Illustration 30 : Bassin versant de la Charente avec position des stations hydrométriques et piézométriques

4. Synthèse de la modélisation

Du fait des caractéristiques géologiques développées précédemment et de manière à s'appuyer sur les cartographies hors texte (Planches 1 et 2), il a été choisi de faire une présentation du bassin de la Charente en 2 grandes parties : la partie amont de la source à Angoulême et la partie aval d'Angoulême à l'embouchure.

La carte de la figure 30 présente la position des piézomètres et des stations hydrologiques analysés et modélisés. Le travail de modélisation a été contraint par la qualité des données de ces stations. Ces données ont toutefois été préalablement critiquées et certaines parties de la chronique éventuellement abandonnées si de toute évidence elles s'avéraient erronées.

Pour la partie amont l'équation de pluie retenue fait intervenir les chroniques de pluie journalière des stations de La Couronne, La Rochelle, La Roche-sur-Yon, Niort, Poitiers et l'ETP de Poitiers.

Pour la partie aval, l'équation intègre les stations de La Couronne, La Rochelle, Mérignac, Poitiers, Saintes et l'ETP de La Rochelle.

En ce qui concerne les données météorologiques utilisées, les stations retenues devaient obligatoirement disposer de données fiables et de chroniques suffisamment fournies à pas de temps journalier depuis 1990. Ceci explique le choix des stations souvent en dehors du bassin étudié. Toutefois l'utilisation d'une équation basée sur plusieurs stations permet de lisser les impacts relatifs des variations climatiques d'amont à l'aval dans des bassins versants très intégrateurs.

4.1 LA CHARENTE AMONT (DE PONT DE SURIS A VINDELLE)

4.1.1. Analyse des chroniques piézométriques

Piézomètre d'Alloué (06622X0068) Infra-Toarcien

Ce piézomètre est le plus amont du bassin de la Charente. Il est situé en rive gauche. Le battement de la nappe infra-toarcienne y est faible et son niveau reste nettement au-dessus de la cote de la Charente à proximité, aussi bien en hautes qu'en basses eaux.

Le modèle de ce piézomètre est moyennement calé, avec une tendance à la baisse depuis 2001 et un phénomène de débordement à la cote 54 m NGF observé en 2002. L'analyse impulsionnelle montre une composante lente témoignant d'une importante inertie par rapport à la plupart des graphes analysés sur le territoire de Poitou-Charentes : maximum de l'impact d'une pluie efficace au bout de 3 mois et passage complet de la pluie au bout de 2 ans (Illustration 31).

Dans tout ce secteur, l'Infra-Toarcien aquifère affleure dans la vallée de la Charente. Le piézomètre d'Alloue est situé sur une crête piézométrique avec des écoulements principalement dirigés vers la Charente.

L'introduction d'une tendance sur le long terme a été nécessaire pour caler le modèle sur la chronique. Cette tendance pourrait être due à des cycles longs climatiques mais nous ne disposons pas d'une chronique suffisamment longue pour statuer sur ce point.

Utilisé en prévision (Illustration 32), le modèle restitue des niveaux d'étiage avec des écarts relativement importants entre années humides et années sèches. L'existence de la tendance à la baisse introduite explique les écarts observés entre chroniques de mesures et courbes prévisionnelles. Celles-ci sont calculées en se plaçant en 2011. **La persistance de cette tendance à la baisse étant loin d'être certaine, il convient donc de rester prudent sur l'utilisation de ces résultats.**

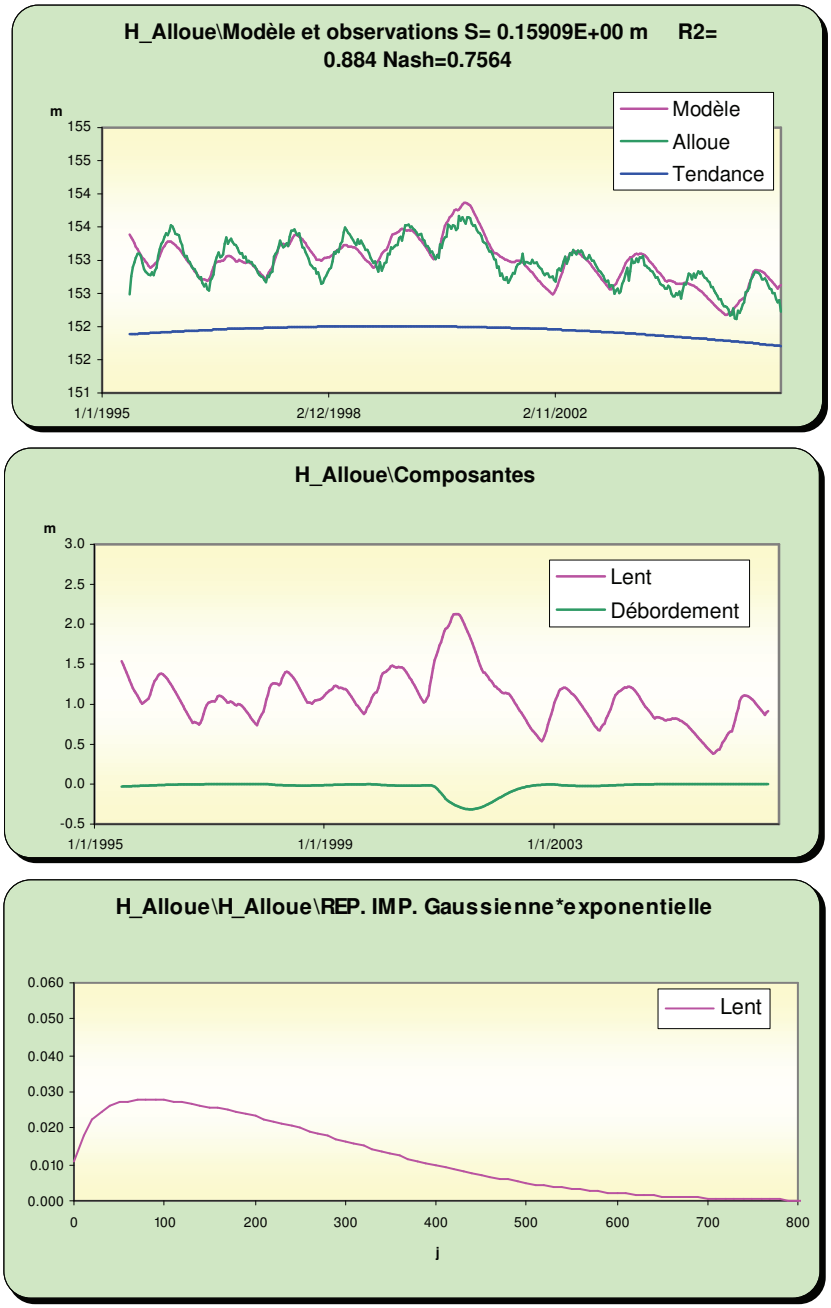


Illustration 31 : Modélisation du piézomètre d'Alloue (Infra-Toarcien), de haut en bas : superposition du modèle sur la chronique avec introduction d'une tendance, les différentes composantes, analyse impulsionnelle montrant la composante lente.

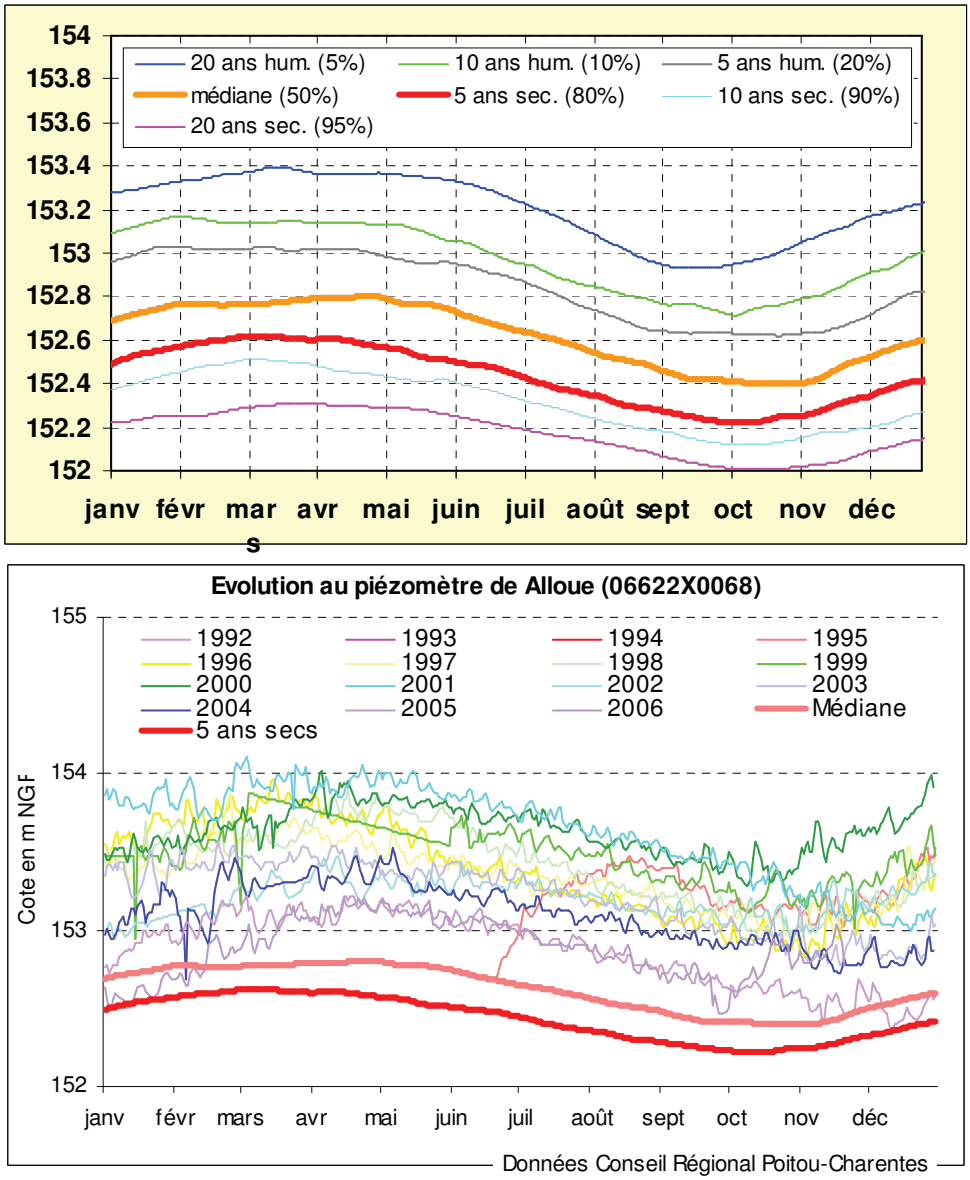


Illustration 32 : Utilisation du modèle du piézomètre d'Alloue en prévision : <u>en haut</u> courbes non influencé par les pompages (en m NGF) avec période de retour, <u>en bas</u> superposition des courbes médiane et 5 ans secs sur les chroniques.

Piézomètre de Lemaire (06385X0069) Infra-Toarcien

Situé au Nord de Charroux, en rive droite de la Charente, ce piézomètre profond (166 m) à l'Infra-Toarcien présente une chronique assez courte et très perturbée qui a été difficile à modéliser (Illustration 33). Le modèle permet de souligner toutefois un impact important des pompages. Il existerait aussi un seuil de débordement autour de la cote 115 m NGF voisine de celle de la Charente à proximité.

L'analyse impulsionnelle montre un comportement assez singulier avec une inertie élevée. L'impact maximum d'une pluie efficace se produirait au bout de 6 mois. L'effacement de l'effet d'une pluie se ferait au bout d'une année.

Utilisé en prévision (Illustration 34), le modèle de ce piézomètre donne une courbe lissée (10 jours) 5 ans secs avec un niveau d'étiage non influencé autour de 108 m NGF. Le graphe montre des écarts importants des niveaux d'étiage non influencés entre une année sèche et une année humide, de 105 m NGF pour 20 ans secs à 125 m NGF pour 20 ans humides. Toutefois, avec un R2 de 0.8, la fiabilité du modèle n'est pas optimum entraînant une certaine imprécision en prévision.

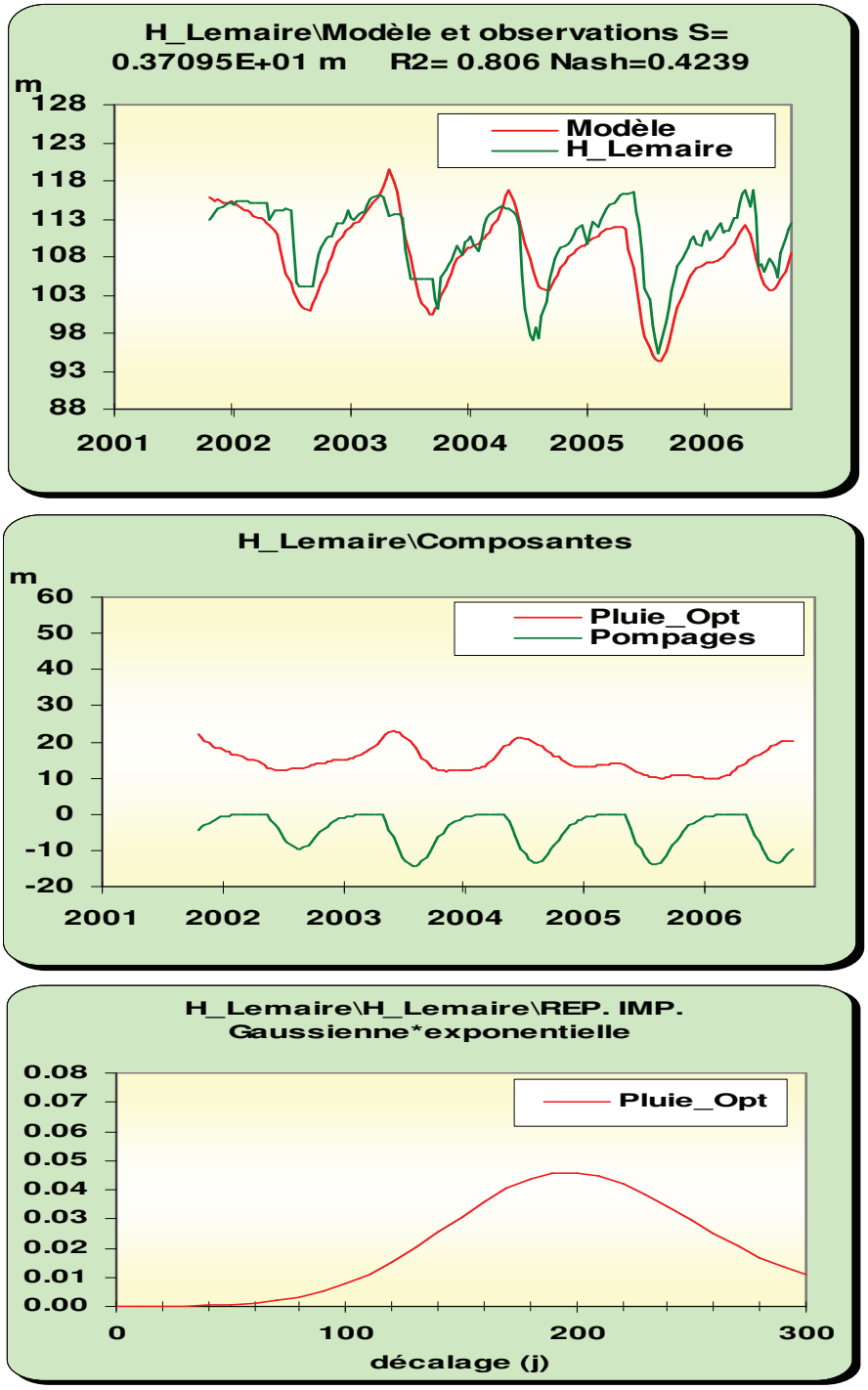
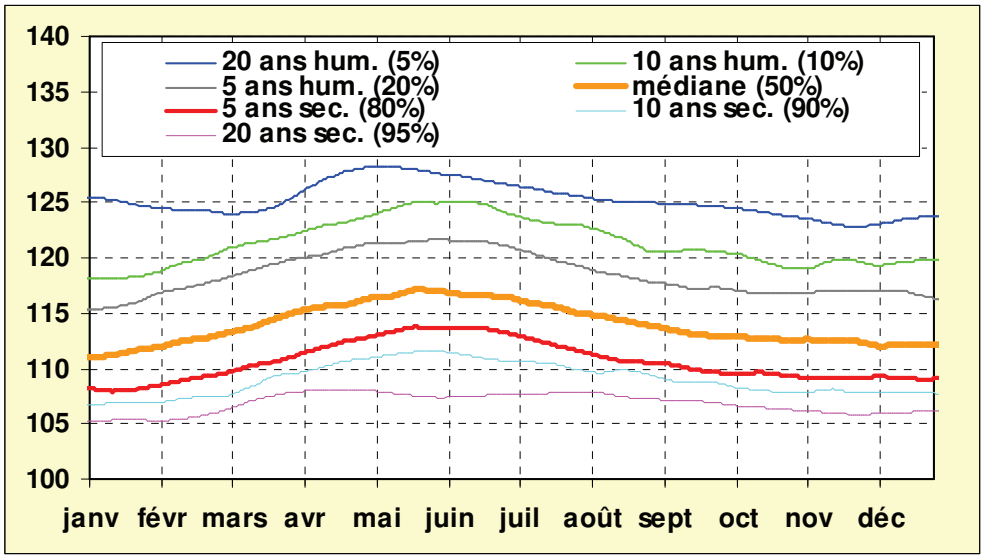


Illustration 33 : Modélisation du piézomètre de Lemaire (Infra-Toarcien), de haut en bas : superposition du modèle sur la chronique, les différentes composantes, analyse impulsionnelle montrant la composante lente.



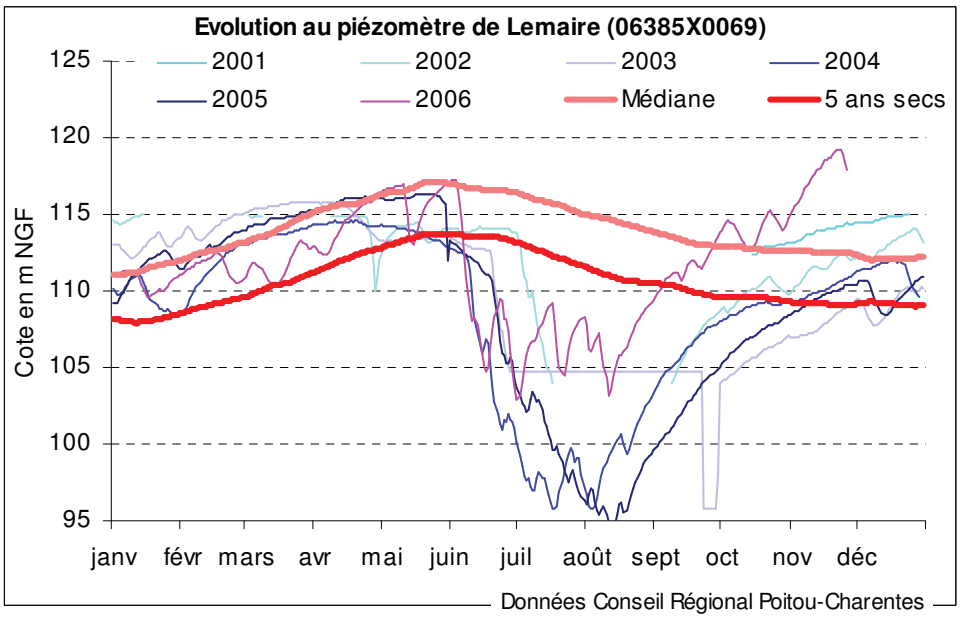


Illustration 34 : Utilisation du modèle du piézomètre de Lemaire en prévision : en haut courbes non influencé par les pompages avec période de retour, en bas superposition des courbes médiane et 5 ans secs sur les chroniques annuelles.

Piézomètre de Limalonges (06377X0030) Dogger

Le piézomètre de Limalonges (36 m de profondeur) est situé en rive droite de la Charente, après Civray, dans le plateau calcaire. Il capte l'aquifère karstique du Dogger.

Le modèle est particulièrement bien calé sur la chronique (Illustration 35). Son calage a nécessité l'introduction d'un seuil de débordement autour de 115 m NGF qui pourrait correspondre à l'alimentation de la vallée sèche dans laquelle est implanté ce point.

La décomposition du graphe montre une composante rapide minoritaire, avec un pic au bout de 10 jours, et une composante lente prédominante avec un maximum au bout de 3 mois et un retour à l'état initial après une impulsion pluie au bout de 6 mois environ. Ce point apparaît bien caractériser une nappe du Dogger libre à la fois karstique (composante rapide) et capacitive avec des circulations (et des stockages) plus lentes dans la matrice.

Par ailleurs, l'impact des pompages reste faible.

L'utilisation du modèle en prévision donne une cote d'étiage 5 ans secs autour de 107.50 m NGF. Cette courbe obtenue statistiquement peut être utilisée en gestion. Remarquons aussi que la courbe 20 ans secs est proche de l'évolution des niveaux de la nappe en 2005.

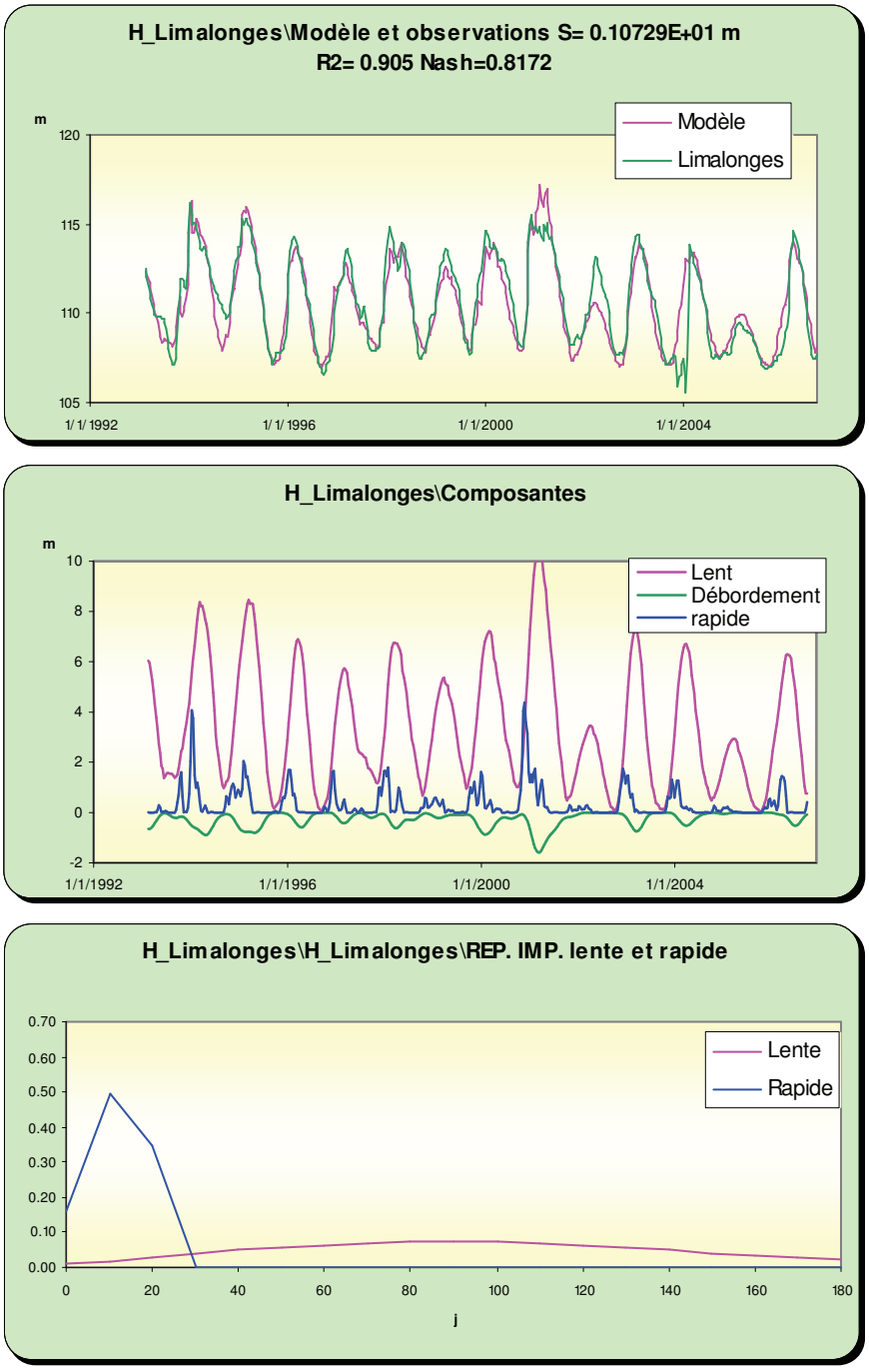
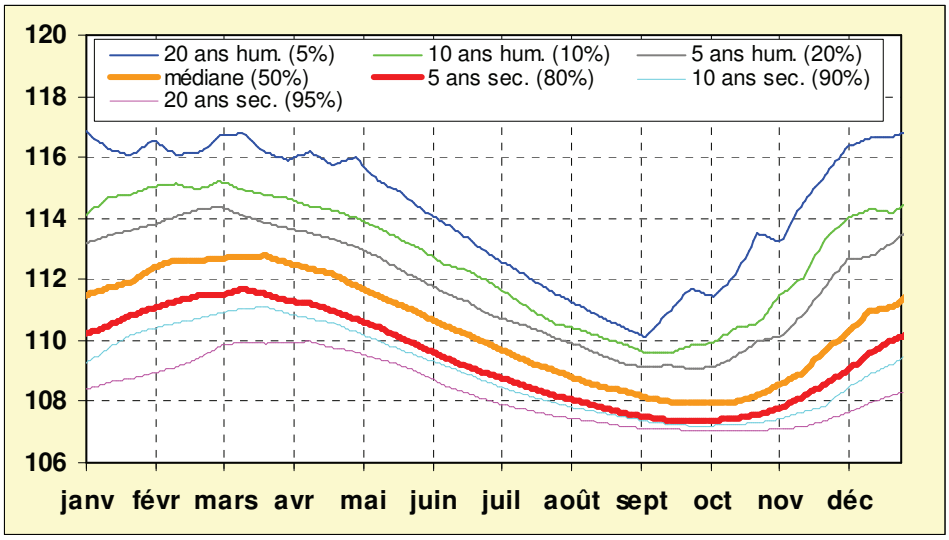


Illustration 35 : Modélisation du piézomètre de Limalonges (Dogger), de haut en bas : superposition du modèle sur la chronique, les différentes composantes, analyse impulsionnelle montrant les composantes lente et rapide.



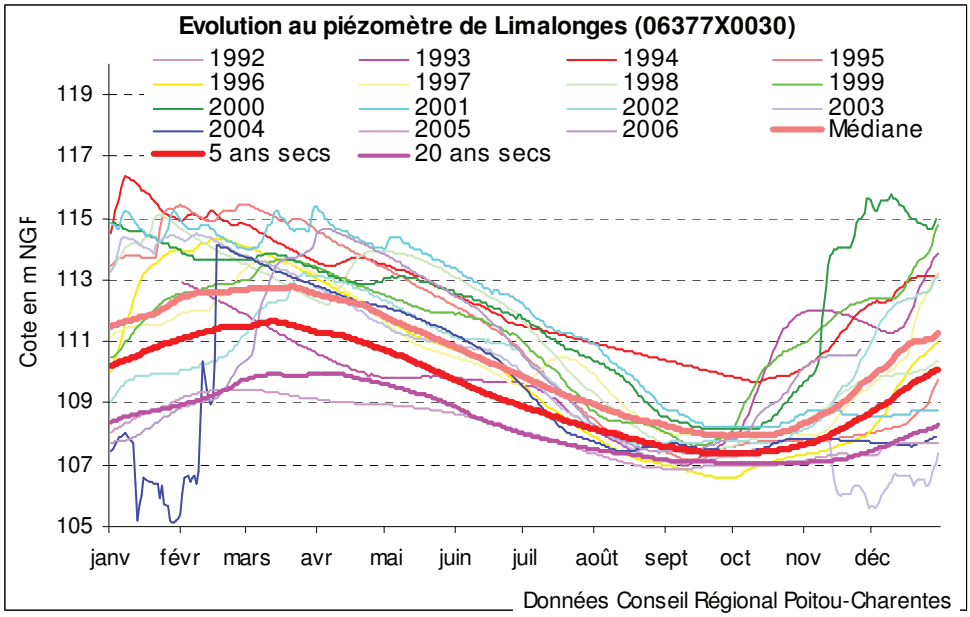


Illustration 36 : Utilisation du modèle du piézomètre de Limalonges en prévision : <u>en haut</u> courbes non influencé par les pompages avec période de retour, <u>en bas</u> superposition des courbes médiane, 5 et 20 ans secs sur les chroniques annuelles.

Piézomètre de Sauze (06376X0020) Dogger

Ce piézomètre est situé non loin de l'ouvrage précédent de Limalonges, mais plus à l'amont par rapport à la Charente. De 23 m de profondeur, il capte, la nappe du Dogger.

Par rapport au piézomètre de Limalonges, la modélisation de la chronique met en relief un impact plus marqué des pompages (Illustration 37), une composante rapide plus importante, une inertie de la nappe légèrement plus faible. L'analyse impulsionnelle montre un pic de la composante lente au bout 1 mois ½ et un retour à l'état initial au bout de moins de 4 mois.

Ces graphes caractérisent une nappe libre et karstique.

En prévision, la courbe 5 ans secs donne un niveau non influencé d'étiage autour de 117 m NGF. La courbe 20 ans secs correspond à peu prés à l'évolution 2005 des niveaux (Illustration 38). Ces courbes non-influencées superposées aux chroniques soulignent l'impact des pompages.

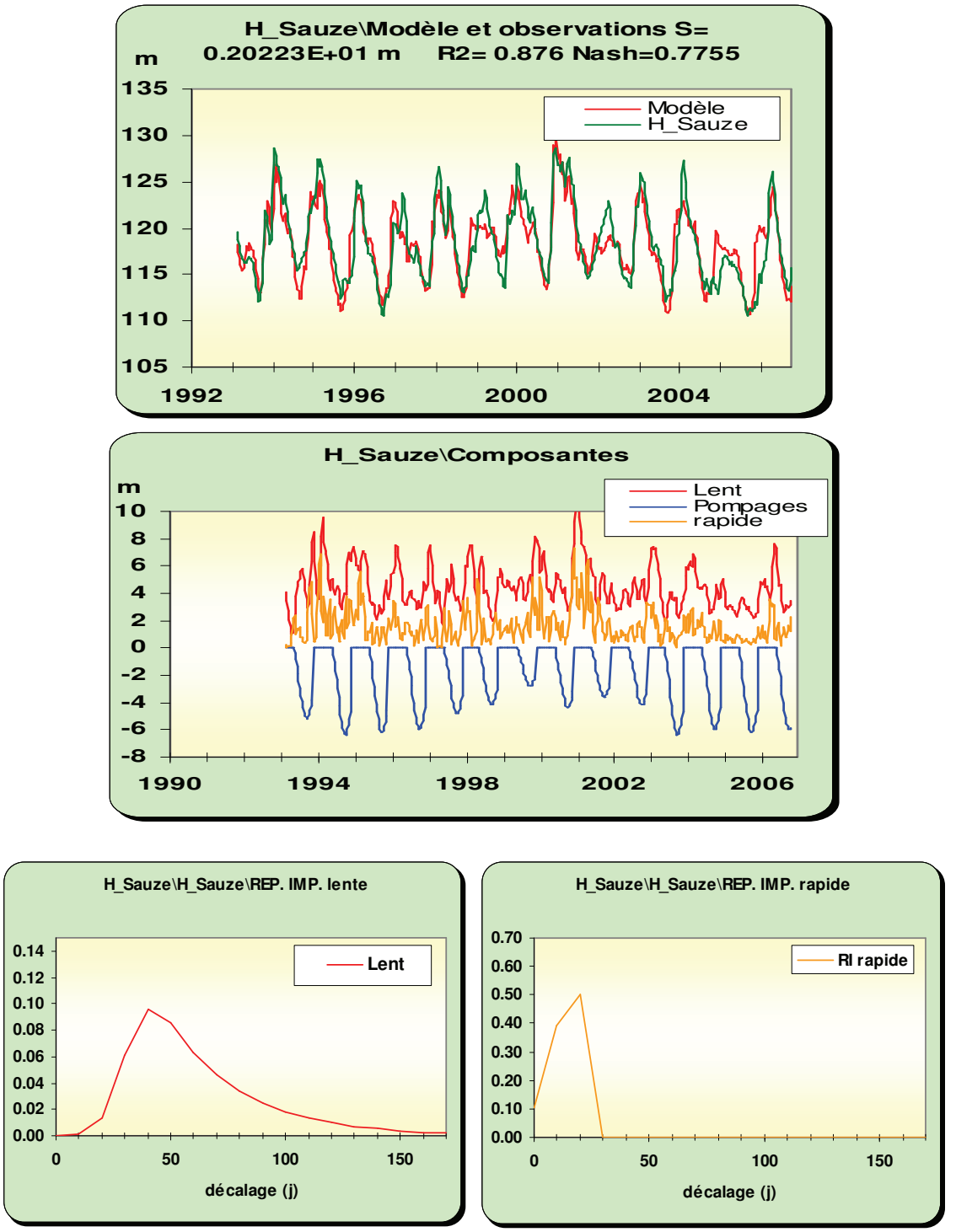


Illustration 37 : Modélisation du piézomètre de Sauze (Dogger), de haut en bas : superposition du modèle sur la chronique, les différentes composantes, analyse impulsionnelle montrant les composantes lente et rapide.

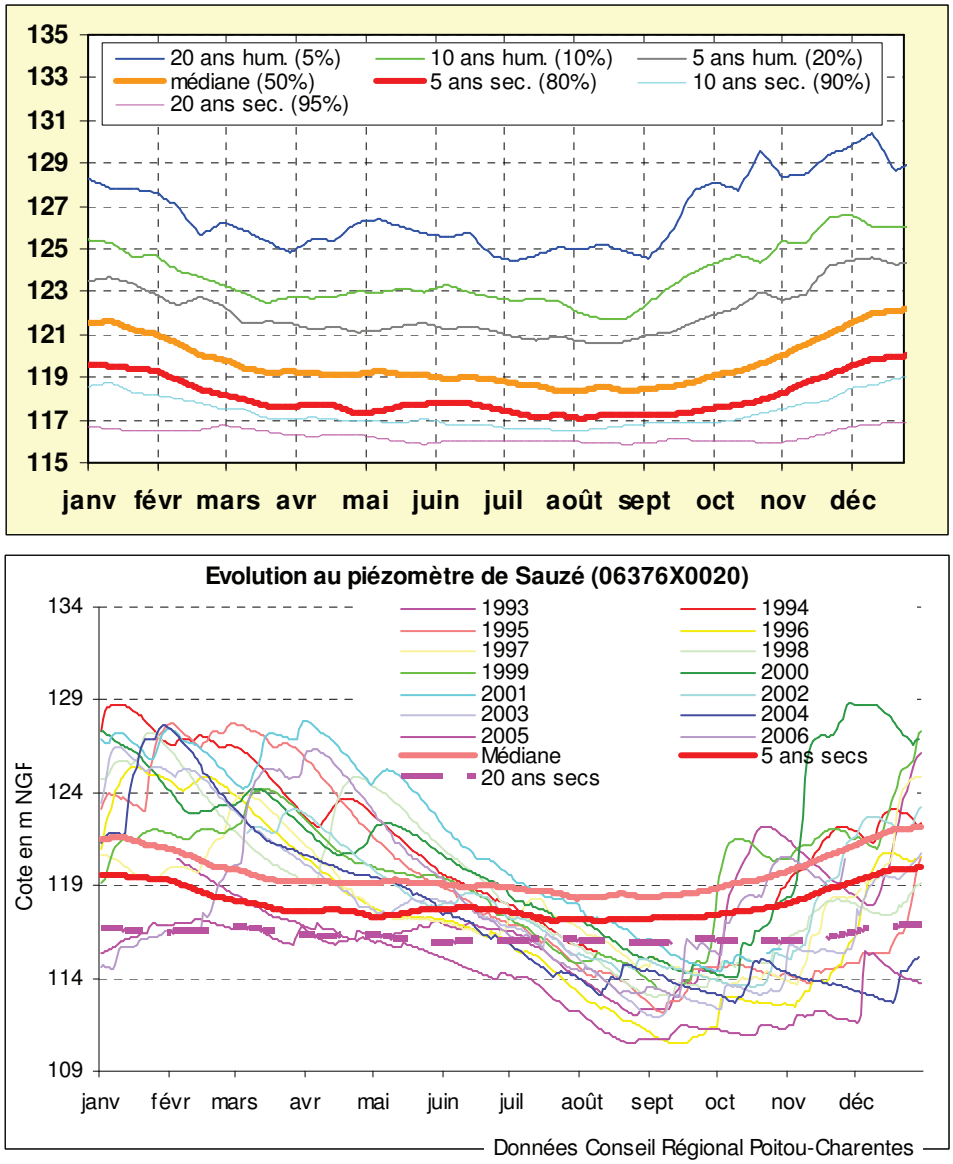


Illustration 38 : Utilisation du modèle du piézomètre de Sauze en prévision : <u>en haut</u> courbes non influencé par les pompages avec période de retour, <u>en bas</u> superposition des courbes médiane, 5 et 20 ans secs sur les chroniques annuelles.

Piézomètre de Ruffec (06613X0039) Dogger

Situé en amont de Ruffec dans la vallée de La Péruse, ce piézomètre de 37 m de profondeur capte la nappe du Dogger.

Le calage du modèle sur la chronique est très correct. Le modèle souligne l'existence d'un seuil bas à 87.5 m qui correspond à la cote de la Péruse dans sa partie pérenne, 2 km au Sud de l'ouvrage, dans Ruffec. La rivière constituerait un niveau de base pour la nappe.

La décomposition du graphe conduit à une composante rapide très minoritaire (pic à 20 j) et une composante lente avec un pic au bout de 2 mois et un passage complet d'une impulsion pluie efficace au bout de 5 mois environ. La cote des débordements (faibles) correspond à la tête de l'ouvrage. Ce piézomètre ne serait pas impacté par les pompages.

On retrouve là les caractéristiques d'un piézomètre à la nappe libre du Dogger, avec une composante rapide plus ou moins importante en fonction du développement de la karstification dans l'aquifère, et une composante lente témoignant d'une inertie moyenne. La mise en charge est tardive soulignant le caractère libre de la nappe.

Utilisé en prévision le modèle donne une courbe 5 ans secs avec un étiage situé un peu au-dessous de 88 m NGF. Cette courbe peut être utilisée en gestion.

La chronique des mesures de niveaux 2005 est située au-dessous de la courbe 20 ans secs. La période de retour de cette année particulièrement sèche est en effet à rechercher autour de 50 ans secs.

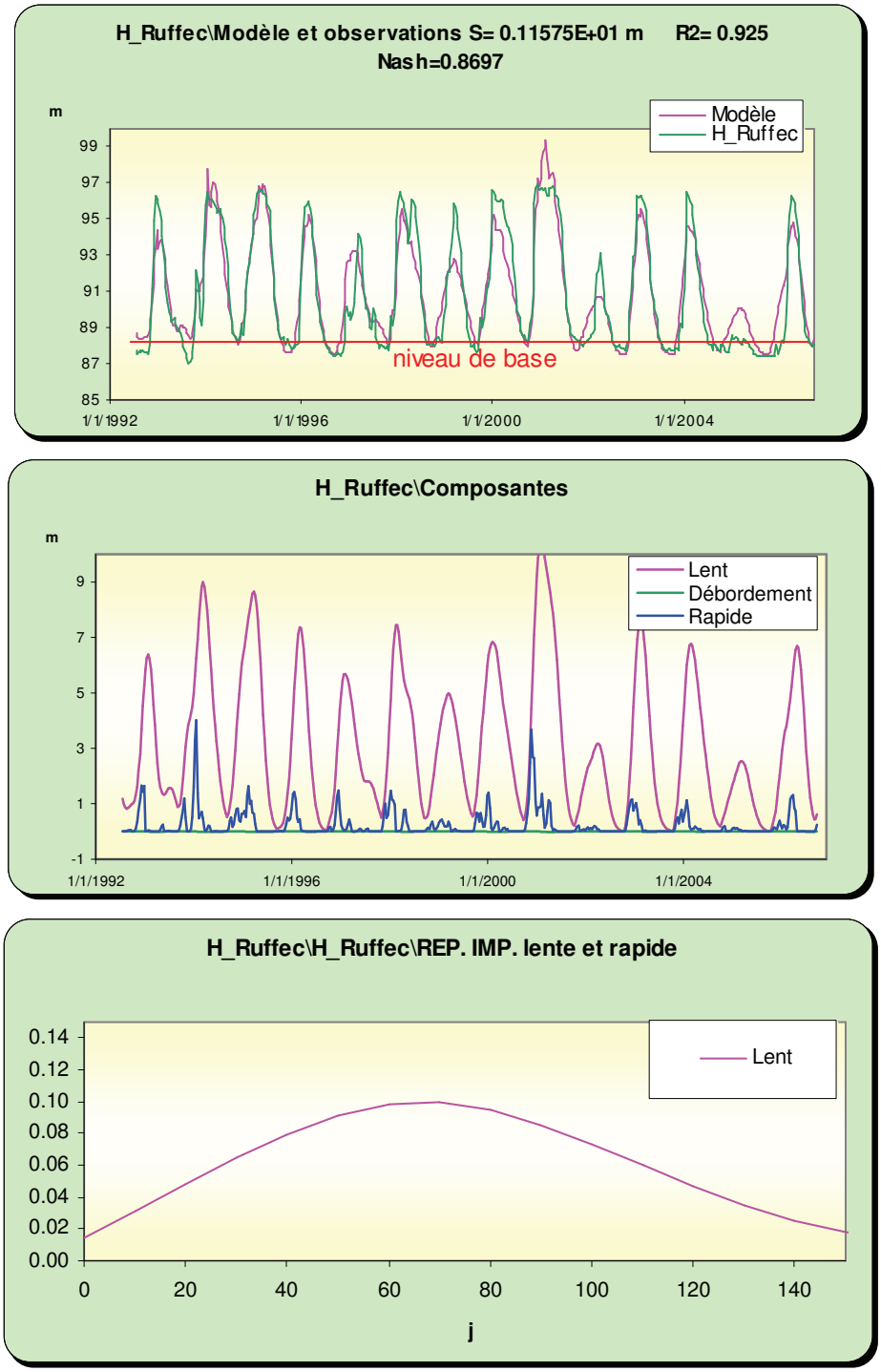
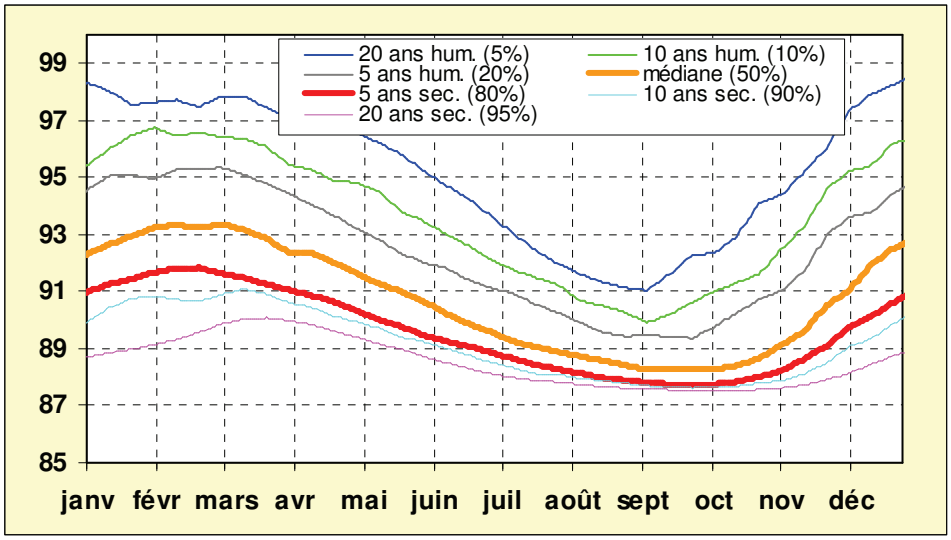


Illustration 39 : Modélisation du piézomètre de Ruffec (Dogger), de haut en bas : superposition du modèle sur la chronique, les différentes composantes, analyse impulsionnelle de la composante lente.



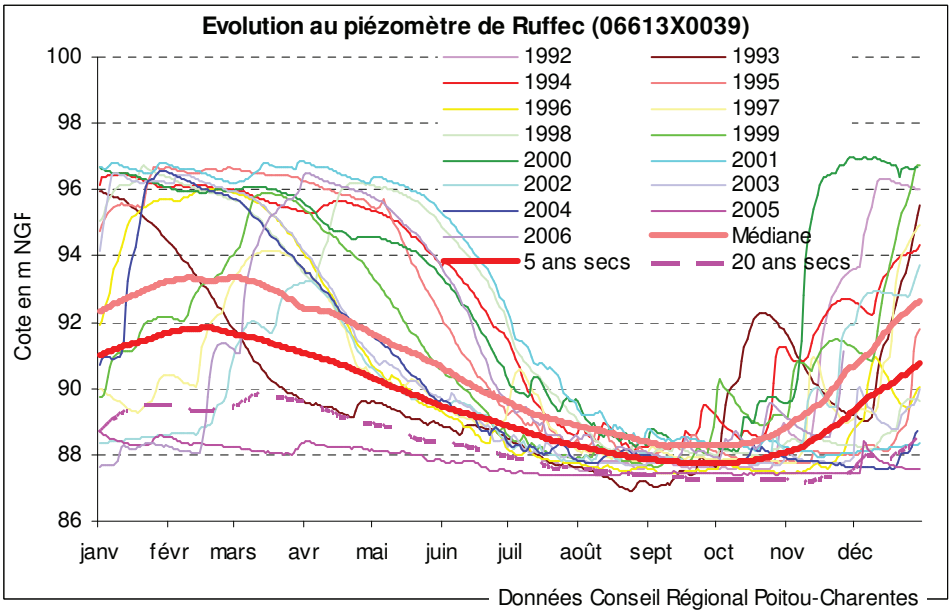


Illustration 40 : Utilisation du modèle du piézomètre de Ruffec en prévision : <u>en haut</u> courbes non influencé par les pompages avec période de retour, <u>en bas</u> superposition des courbes médiane, 5 et 20 ans secs sur les chroniques annuelles.

Piézomètre de Condac (06613X0036) Dogger

De 19 m de profondeur, situé entre Péruse et Charente, ce piézomètre présente un battement annuel faible, de l'ordre du mètre. Il apparaît très contraint par la Charente dont il est proche et présente peu d'intérêt en gestion.

Son analyse a toutefois été entreprise. Le calage du modèle est peu satisfaisant, du fait en particulier de la faible amplitude de battement.

La modélisation ne restitue qu'une composante lente avec un « pic » au bout du mois et le passage totale d'une impulsion pluie en 6 mois.

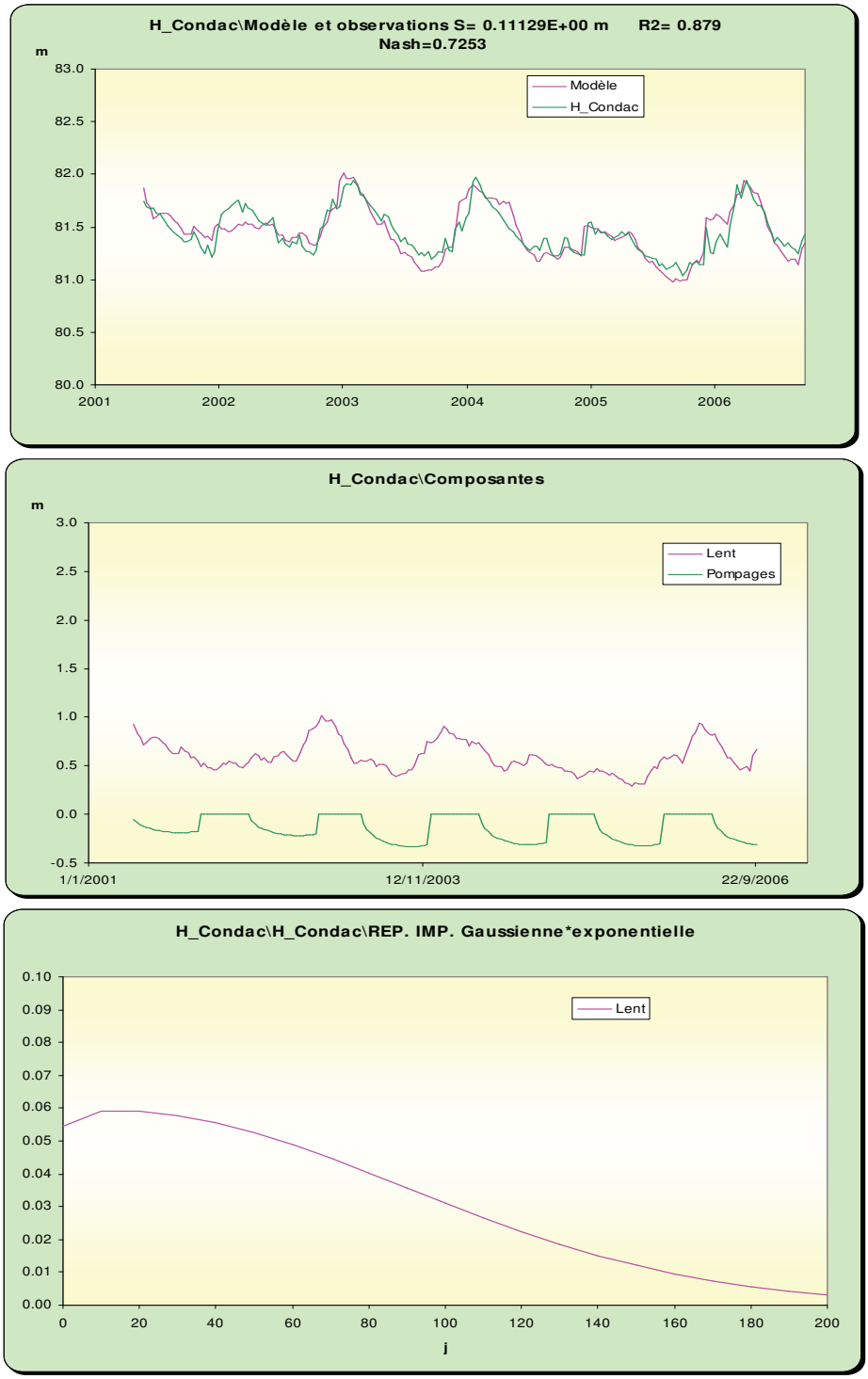


Illustration 41 : Modélisation du piézomètre de Condac (Dogger), de haut en bas : superposition du modèle sur la chronique, les différentes composantes, analyse impulsionnelle de la composante lente.

Piézomètre de Lorigne1 (06375X0003) Dogger

Situé sur une crête entre les bassins versants de la Péruse et de l'Aume-Couture, le piézomètre Lorigné1, d'une profondeur de 12.5 m, capte la nappe du Dogger. La piézométrie de cette nappe libre étant très liée ici à la topographie, ce piézomètre est aussi situé au niveau d'une crête hydrogéologique.

Le modèle est particulièrement bien calé sur la chronique (R2=0.94). Il existe toutefois des décalages en hautes eaux, qui peuvent correspondre à des débordements dans des karsts superficiels, et des calages moins bons en périodes estivales les années atypiques.

La modélisation fait ressortir une composante rapide, minoritaire mais non négligeable, avec un pic à 20 j, et une composante lente avec un maximum d'impact au bout de 3 mois et un retour à 0 après un épisode pluvieux au bout de 8 mois environ.

Ce piézomètre est à l'image des autres ouvrages au Dogger analysés avec un comportement de nappe libre et une composante rapide plus ou moins importante et liée à l'intensité des phénomènes de karstification.

L'impact des pompages est faible. La position de l'ouvrage sur une crête topographique et hydrogéologique explique vraisemblablement ce caractère.

Utilisé en prévision le modèle donne une cote d'étiage 5 ans secs autour de 128 m NGF. La courbe 2005 reste au-dessous de la courbe 20 ans secs.

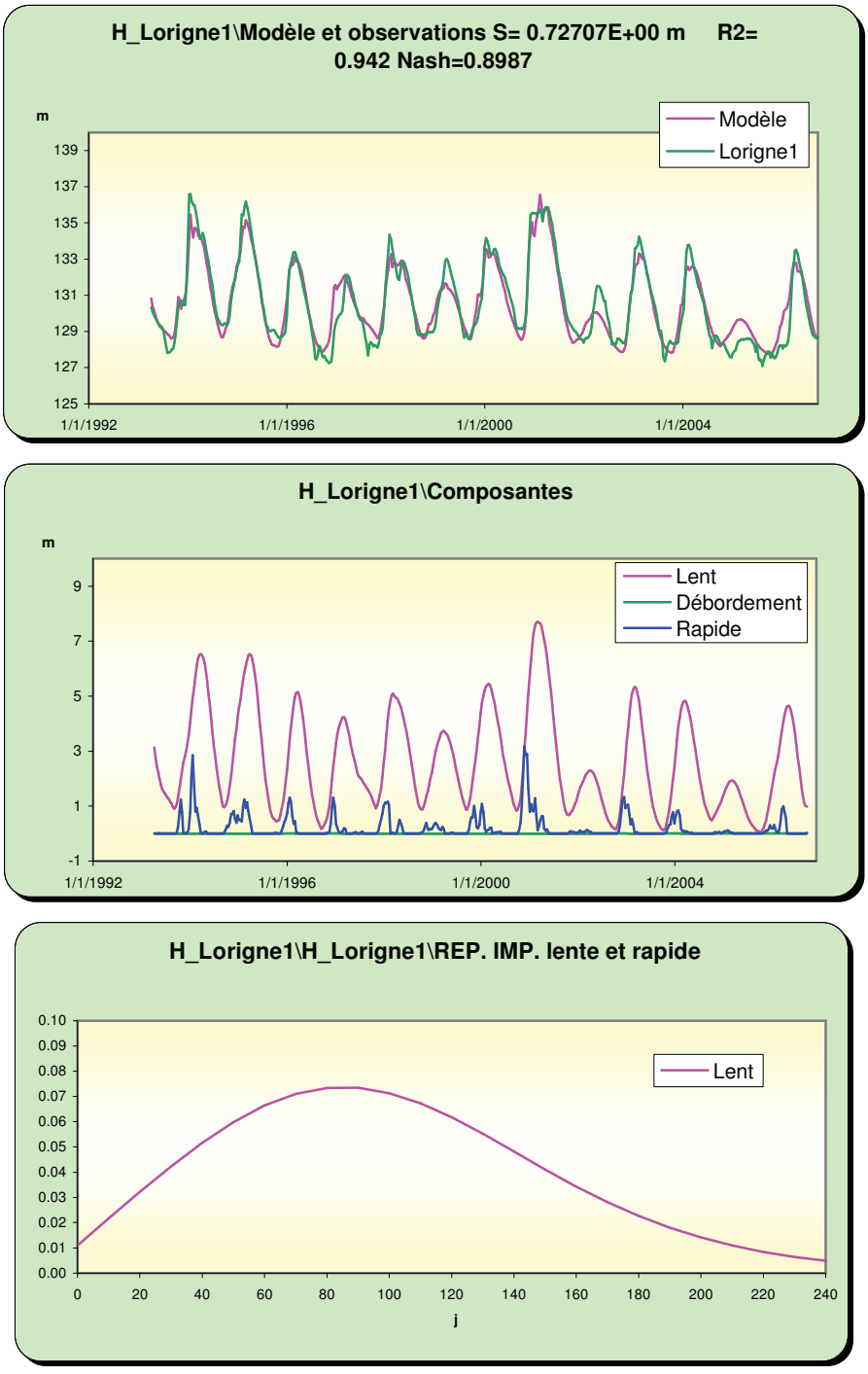
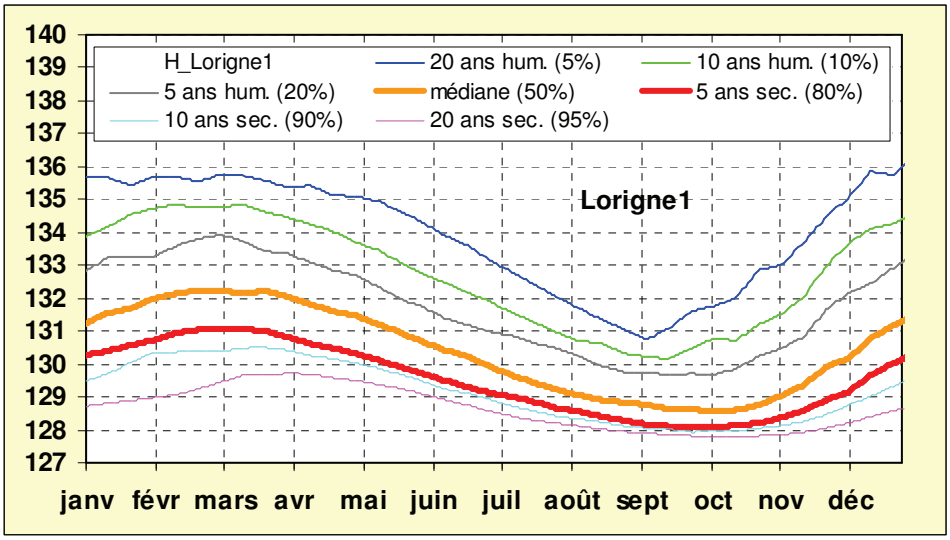


Illustration 42 : Modélisation du piézomètre de Lorigne1 (Dogger), de haut en bas : superposition du modèle sur la chronique, les différentes composantes, analyse impulsionnelle de la composante lente.



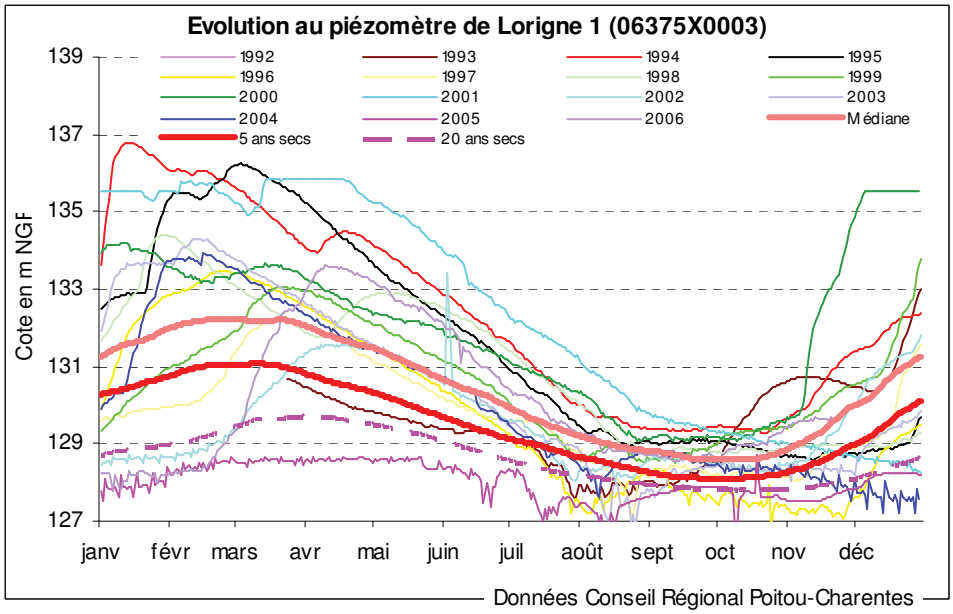


Illustration 43 : Utilisation du modèle du piézomètre de Lorigne1 en prévision : <u>en haut</u> courbes non influencé par les pompages avec période de retour, <u>en bas</u> superposition des courbes médiane, 5 et 20 ans secs sur les chroniques annuelles.

Piézomètre de Lorigne2 (06375X0024) Infra-Toarcien

Situé à proximité du précédent, ce piézomètre de 100 m de profondeur capte la nappe de l'Infra-Toarcien captif. La comparaison (Illustration 44) des chroniques de Lorigné1 et de Lorigné2 montre une évolution parallèle des niveaux piézométriques des nappes du Dogger et de l'infra-Toarcien. La première reste de l'ordre de 4 m au-dessus de la seconde sauf en période de basses eaux où les pompages impactent plus nettement la nappe infra-toarcienne. En 2005, l'écart a été particulièrement net entre les deux nappes dont les graphes montrent la quasi-absence de recharge cette année là.

Le modèle de Lorigné2 se cale moins bien sur la chronique que pour celui de Lorigné1. Certaines années, en hautes eaux, on observerait des débordements de nappe que la nappe conserverait en mémoire pour l'étiage suivant (Illustration 45). La composante rapide serait pratiquement inexistante, ce qui diffère de Lorigné1, et la nappe de l'Infra-Toarcien montre une petite réaction instantanée à une pluie à corréler avec le caractère captif du réservoir.

L'analyse impulsionnelle montre un pic un peu plus précoce pour la composante lente par rapport à la même composante de Lorigné1 (2.5 mois au lieu de 3 mois), mais à contrario un retour à l'état initial un peu plus lent.

La courbe 5 ans secs (Illustration 46) présente une cote d'étiage de l'ordre de 122 m NGF (pour 128 m NGF sur Lorigné1) et la courbe 2005 reste nettement au-dessous de la courbe prévisionnelle 20 ans secs.

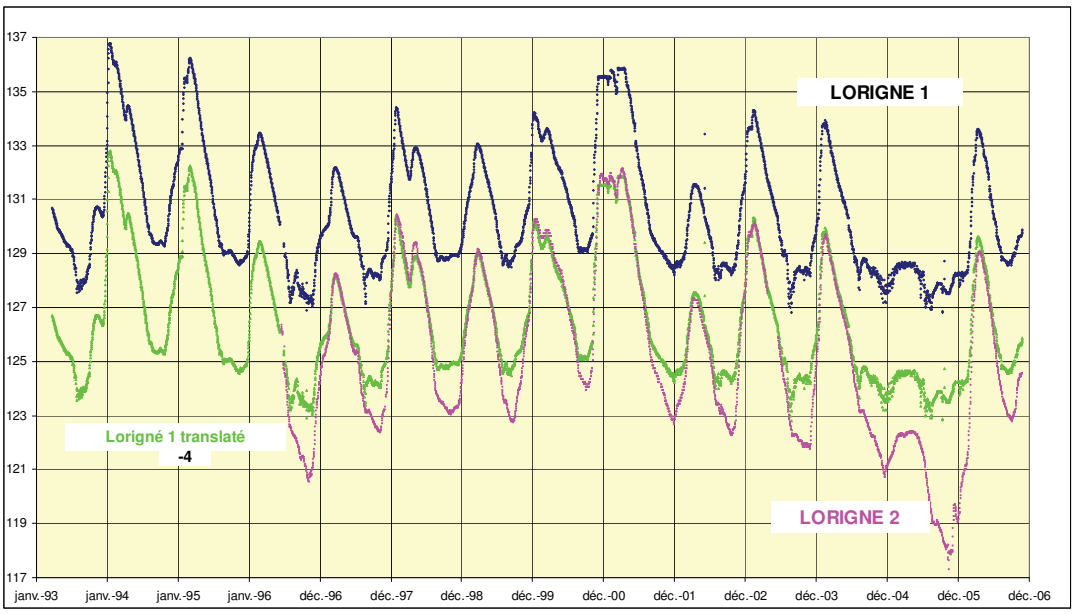


Illustration 44 : Comparaison des chroniques des piézomètres de Lorigné : en bleu : Dogger, en violet : Infra-Toarcien, en vert : Dogger abaissé de 4 m.

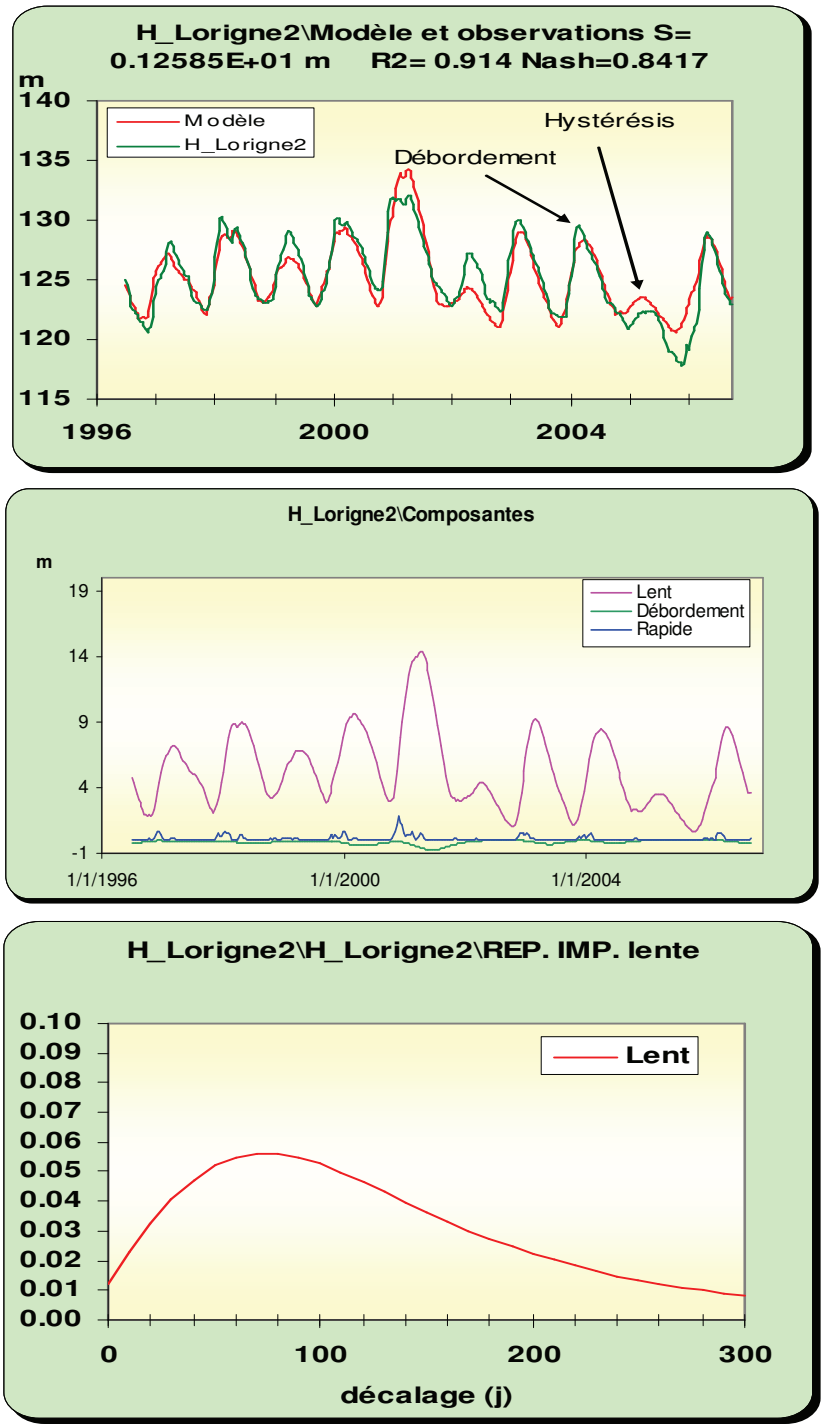
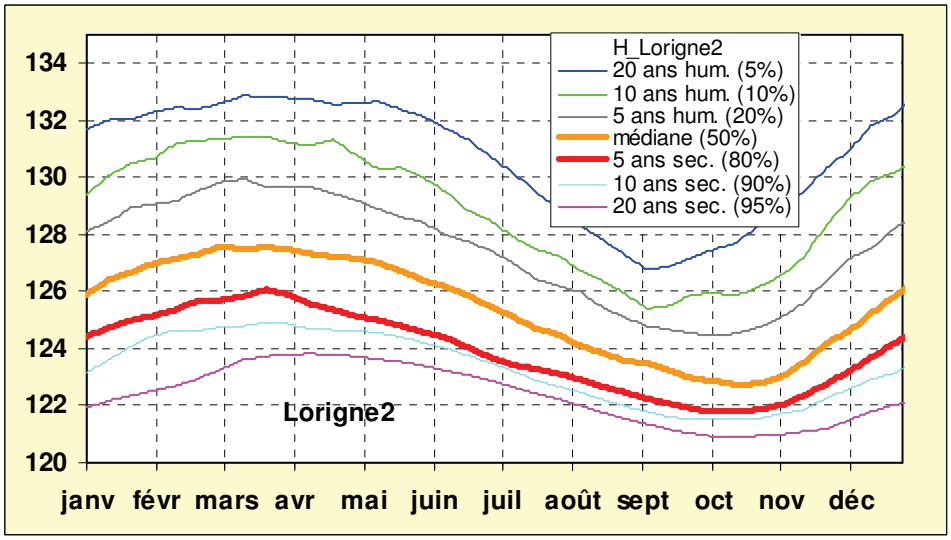


Illustration 45 : Modélisation du piézomètre de Lorigne2 (Infra-Toarcien), de haut en bas : superposition du modèle sur la chronique, les différentes composantes, analyse impulsionnelle de la composante lente.



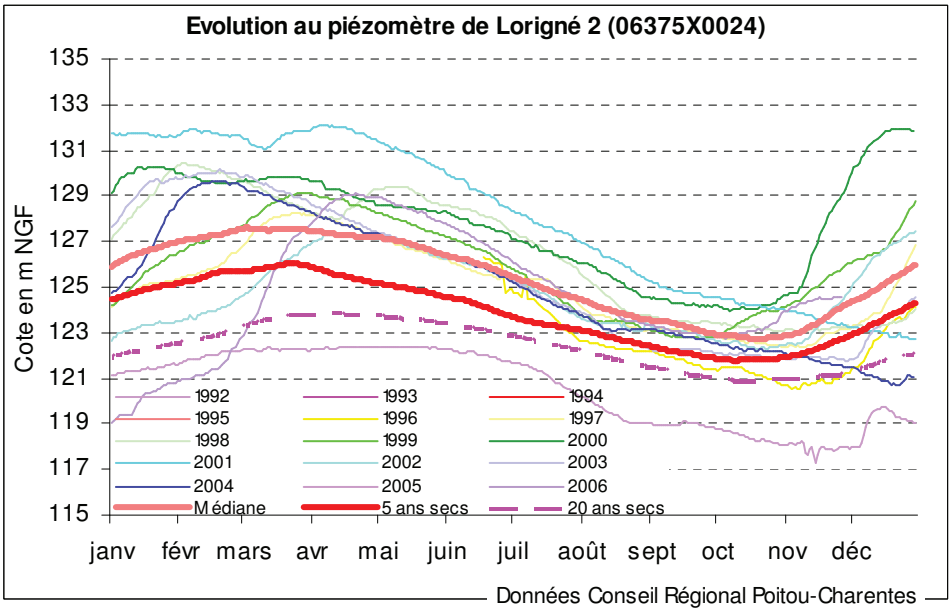


Illustration 46 : Utilisation du modèle du piézomètre de Lorigne1 en prévision : <u>en haut</u> courbes non influencé par les pompages avec période de retour, <u>en bas</u> superposition des courbes médiane, 5 et 20 ans secs sur les chroniques annuelles.

Piézomètre de Salles-de-Villefagnan (06617X0042) Dogger

Le piézomètre de Salles-de-Villefagnan (114 m de profondeur) capte la nappe du Dogger. En surface, on trouve une vingtaine de mètres de calcaires marneux du Callovien.

Le modèle souligne l'existence d'un seuil bas autour de 68 m NGF qui pourrait correspondre à la cote de la Charente au droit de l'ouvrage.

En hautes eaux, le modèle est en général au-dessus de la chronique, mettant en évidence un seuil haut de débordement dans des niveaux supérieurs plus transmissifs.

La composante rapide est importante avec un pic au bout de 2 semaines environ. La composante lente (et dans une moindre mesure la composante rapide) montre une mise en charge immédiate à une pluie efficace caractérisant une nappe captive. Les calcaires marneux doivent induire une certaine captivité de l'aquifère.

Cette mise en charge immédiate rend singulier ce piézomètre par rapport aux autres ouvrages analysés jusqu'ici dans la nappe du Dogger. En revanche, l'importance et les caractéristiques de la composante rapide sont cohérents avec une fissuration et une karstification développée de l'aquifère et de son éponte supérieure. Cette réactivité de la nappe se lit aussi directement sur la chronique (Illustration 48).

L'utilisation du modèle en prévision conduit à une cote d'étiage de l'ordre de 68 m NGF.

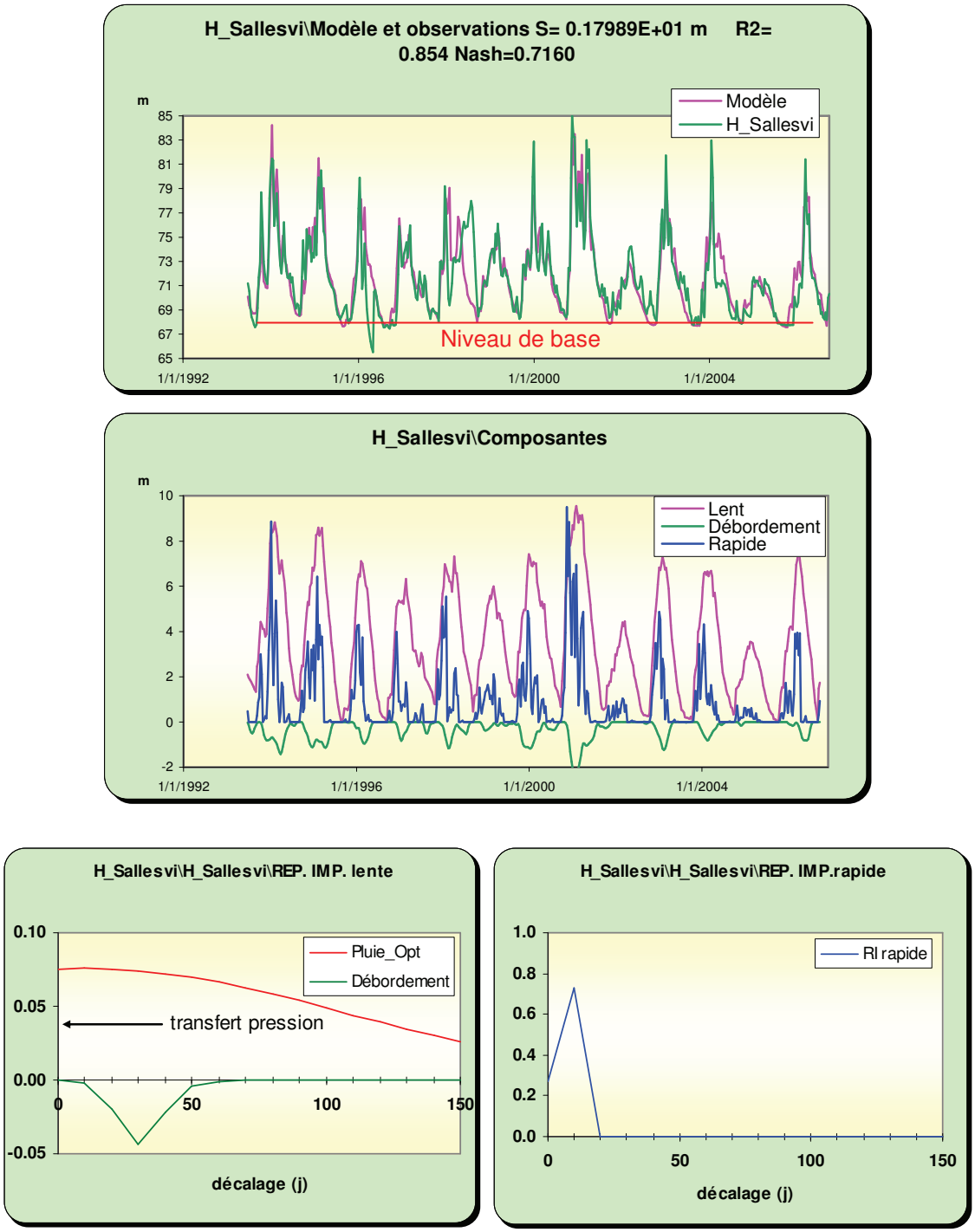
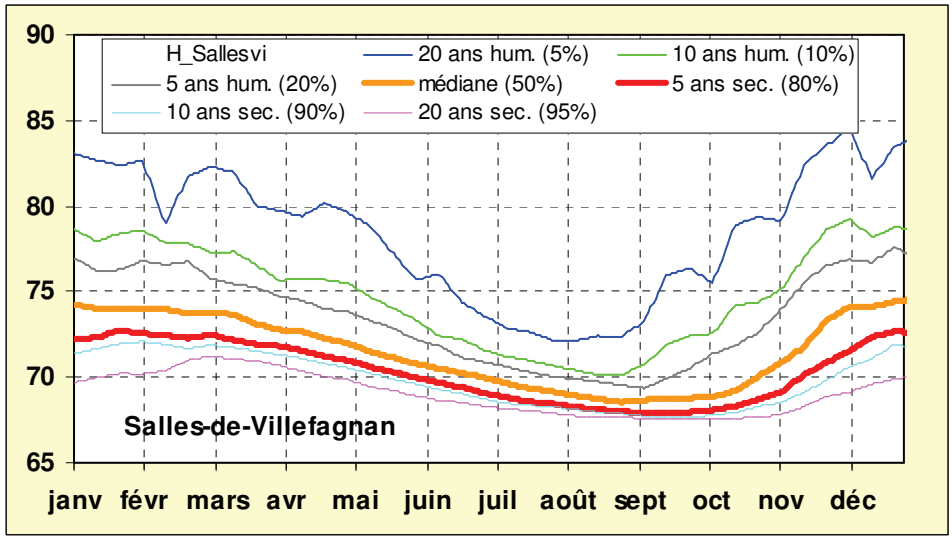


Illustration 47 : Modélisation du piézomètre de Salles-de-Villefagnan (Dogger), de haut en bas : superposition du modèle sur la chronique, les différentes composantes, analyse impulsionnelle des composantes.



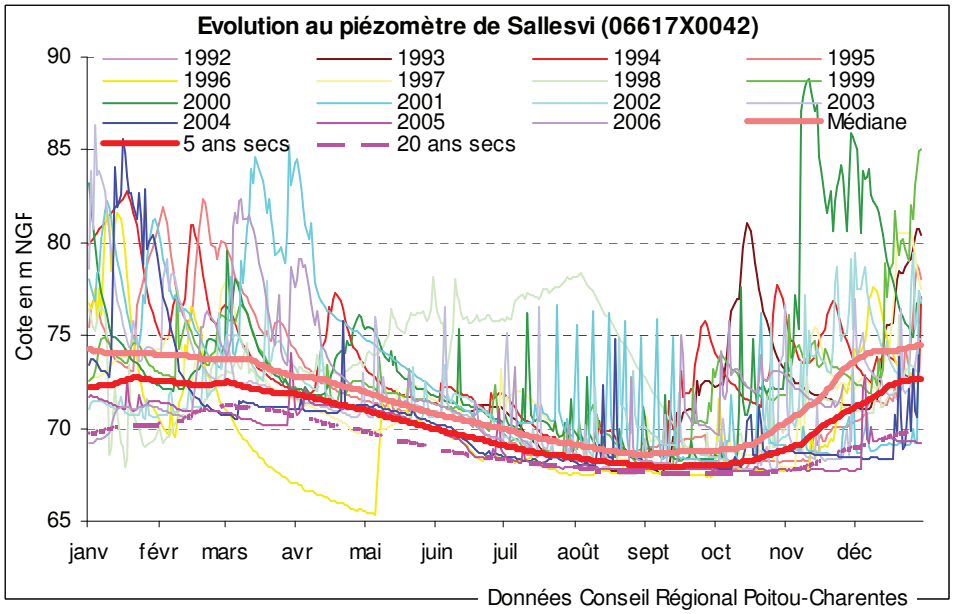


Illustration 48 : Utilisation du modèle du piézomètre de Salles en prévision : <u>en haut</u> courbes non influencé par les pompages avec période de retour, <u>en bas</u> superposition des courbes médiane, 5 et 20 ans secs sur les chroniques annuelles.

Piézomètre de Mouton (06853X0053) Infra-Toarcien

Ce piézomètre profond (350 m de profondeur) capte la nappe de l'Infra-Toarcien. Il pénètre de plusieurs dizaines de mètres dans le socle. En surface on trouve des calcaires marneux du Callovien.

La chronique montre une tendance à la baisse assez marquée entre 1995 et 2000, vraisemblablement sous l'influence de pompages AEP, car cette tendance se marque quelque soit la période dans l'année.

Le modèle est mal calé sur la chronique. Il montre toutefois un seuil de débordement, une composante rapide insignifiante, une composante lente avec un pic entre 3 à 4 mois et un retour à l'état initial après une impulsion pluie au bout d'un an.

Du fait de la tendance et du calage très moyen, l'utilisation du modèle en prévision est délicate. L'Illustration 50 présente des résultats qu'il convient de considérer avec prudence.

L'existence d'une tendance à la remontée amène à des courbes statistiques plus hautes que les chroniques d'observation. Ainsi, la courbe 5 ans secs présente une cote d'étiage entre 64 à 65 m NGF alors que les cotes actuelles sont situées entre 61 et 62 m NGF. Basés sur une hypothèse de tendance à la remontée, ces résultats de la modélisation figurent ici à titre informatif et ne peuvent être utilisés en gestion.

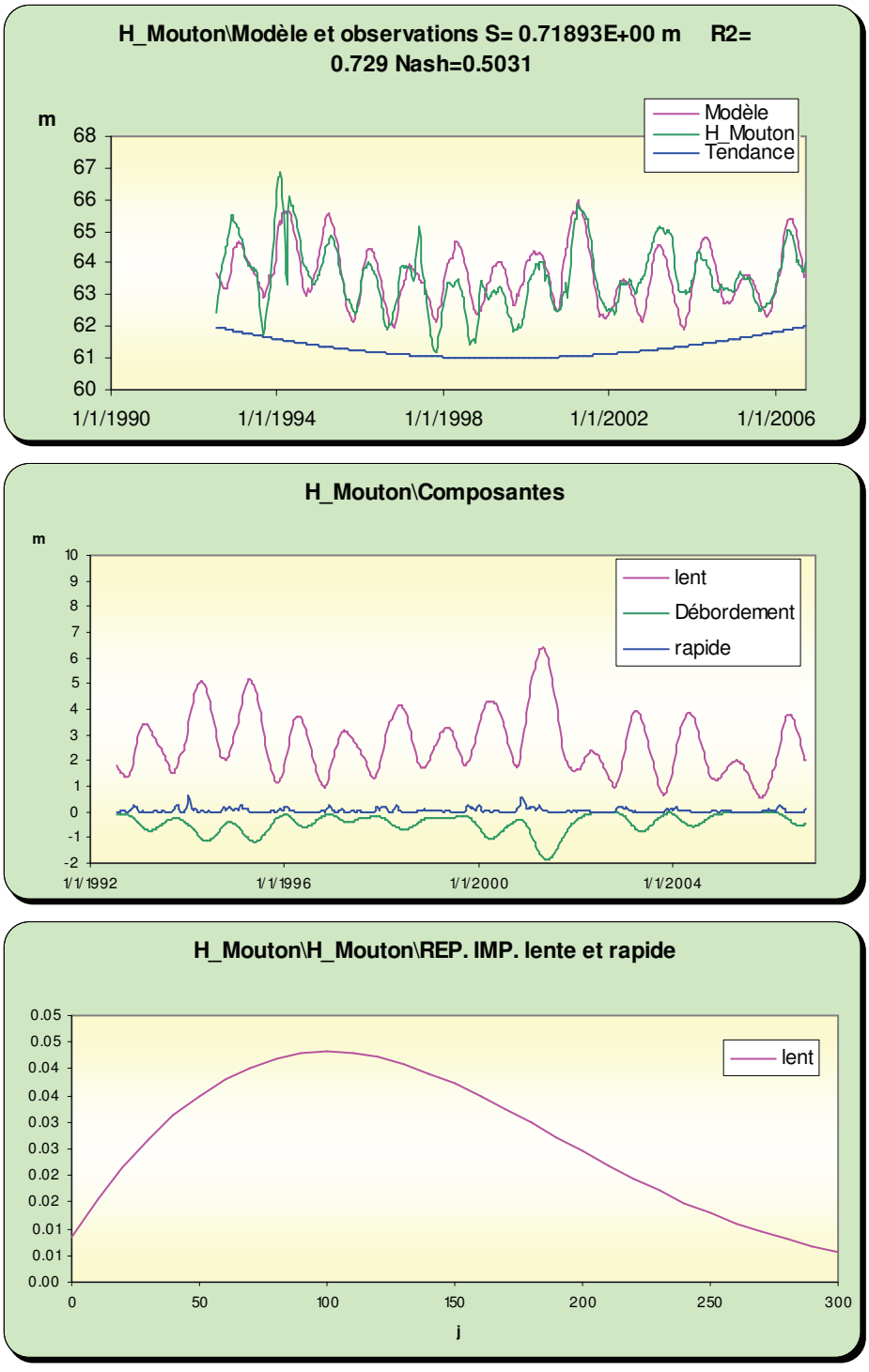


Illustration 49 : Modélisation du piézomètre de Mouton (Infra-Toarcien), de haut en bas : superposition du modèle sur la chronique, les différentes composantes, analyse impulsionnelle de la composante lente.

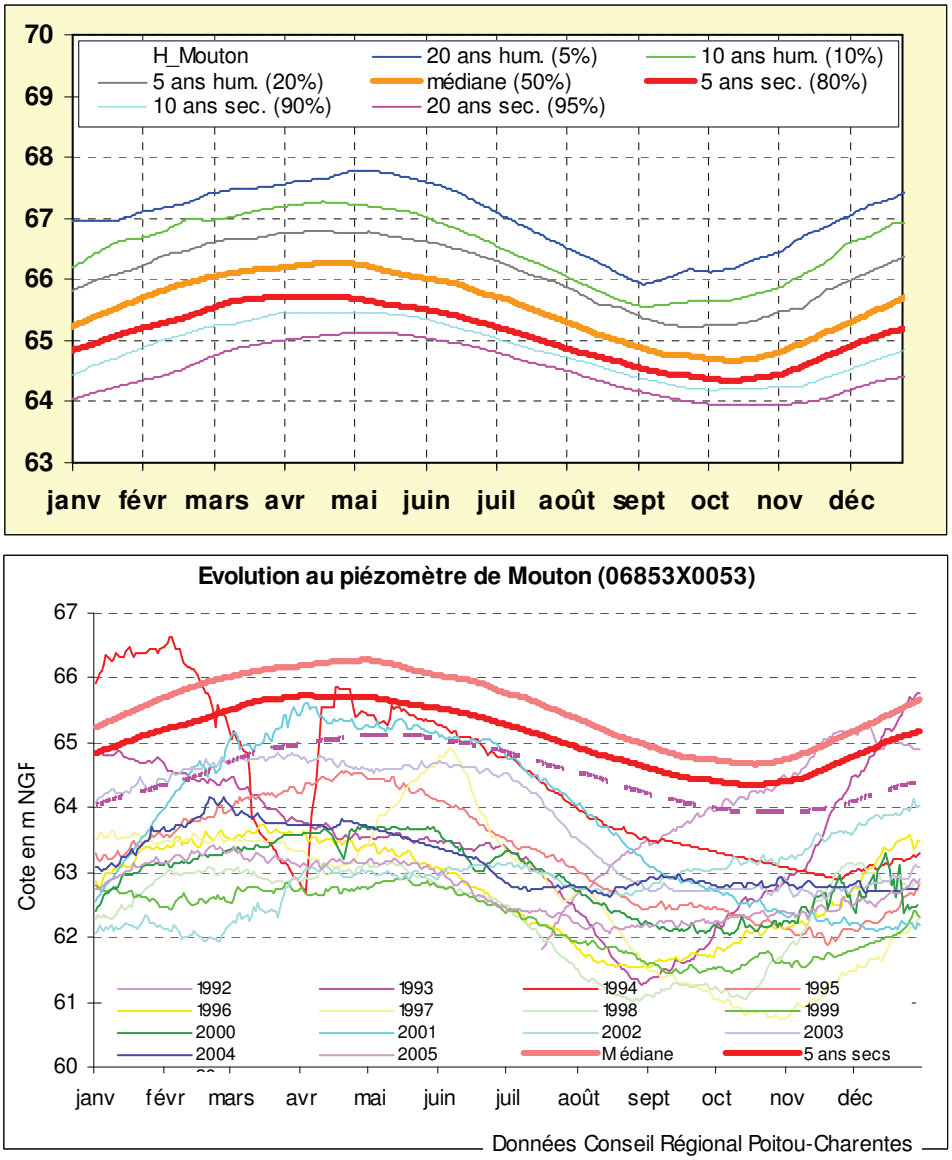


Illustration 50 : Utilisation du modèle du piézomètre de Mouton en prévision : <u>en haut</u> courbes non influencé par les pompages avec période de retour, <u>en bas</u> superposition des courbes médiane, 5 et 20 ans secs sur les chroniques annuelles.

Piézomètre de Bellicou (06616X0068) Dogger

Ce forage de 124 m de profondeur est positionné à 200 m de la rivière Bief et capte la nappe du Dogger. En surface on trouve les calcaires et marnes du Callovien et du Jurassique supérieur.

La modélisation de ce piézomètre souligne l'impact des pompages et l'existence d'un niveau haut de débordement dans les formations supérieures fissurées. Ce niveau situé autour de 70 m NGF correspond aussi à la cote de la rivière. En été, les pompages sont responsables d'un rabattement supplémentaire de l'ordre de 50 cm.

Les battements annuels restent faibles, autour de 2 m, et semblent contrôlés par le Bief.

En dehors des pompages et des débordements, il existe des transferts rapides (pic à 10 j) minoritaires et une composante lente avec un maximum d'impact sur le niveau piézométrique au bout de plus de 3 mois et le passage total d'une impulsion pluie au bout de plus de 6 mois. La mise en charge est immédiate pour la composante rapide et différée pour la composante lente.

Ce piézomètre capte un aquifère du Dogger plus ou moins karstique sous une couverture calcaréo-marneuse traversée par des fissures qui mettent en relation l'aquifère profond avec la surface.

L'utilisation de ce modèle en prévision donne une cote d'étiage 5 ans secs non influencée autour de 68.80 m NGF. La superposition des courbes « prédictives » sur les chroniques annuelles des mesures (Illustration 52) montre toutefois un mauvais calage à la fin du printemps début de l'été. Entre avril et le 15 juin à peu prés, les courbes restituées par le modèle sont au-dessous de la piézométrie mesurée. Cette dernière est donc soutenue, durant ces périodes, par les eaux de surface, étant donné qu'il n'y a plus alors de pluies efficaces qui viennent alimenter la nappe. Ce constat et cette interprétation ont été réalisés par ailleurs sur plusieurs piézomètres en général situés dans les zones aval des bassins (autour du Marais Poitevin en particulier). Les courbes prédictives doivent être corrigées en conséquence en considérant ce palier annuel.

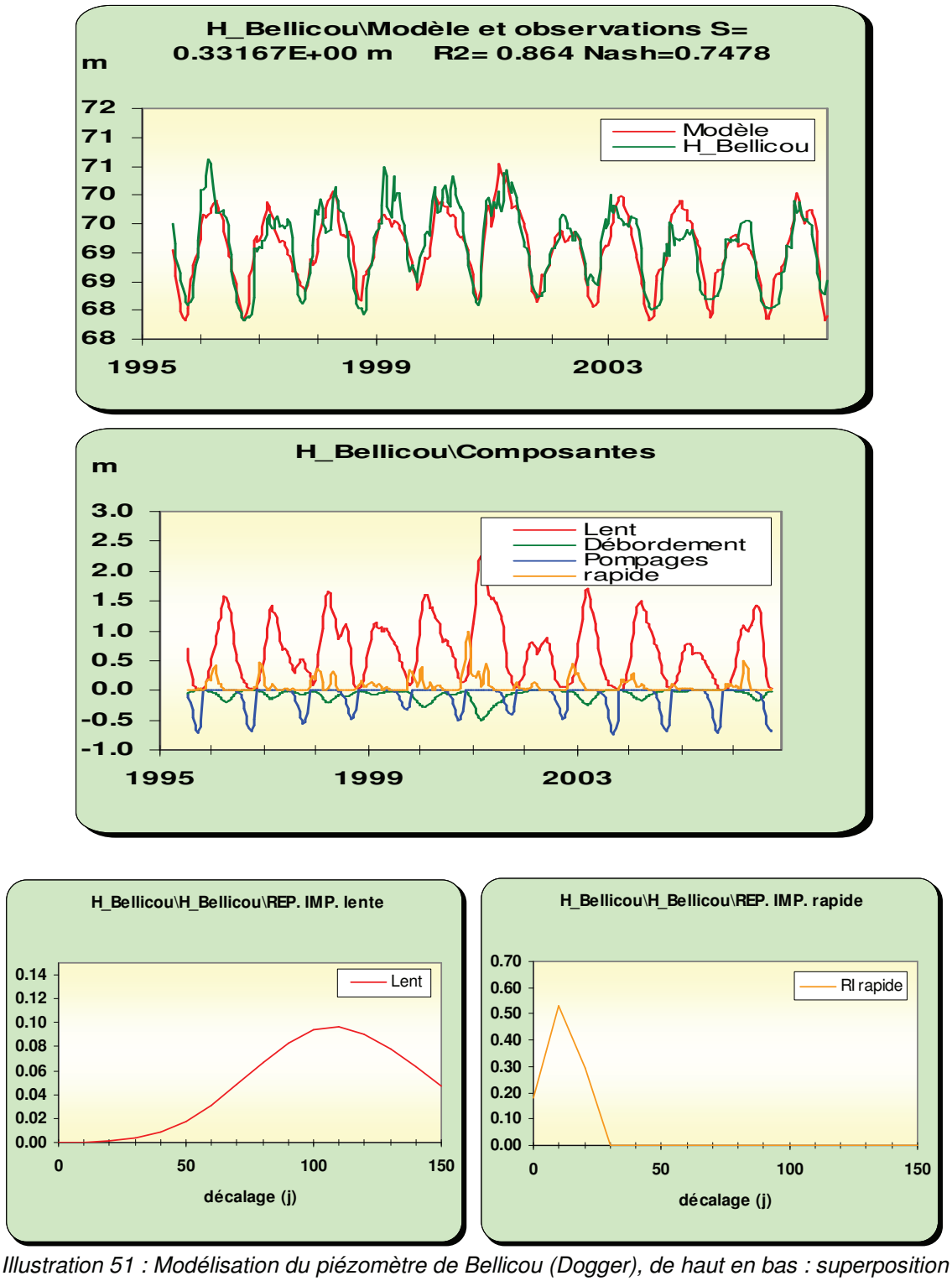
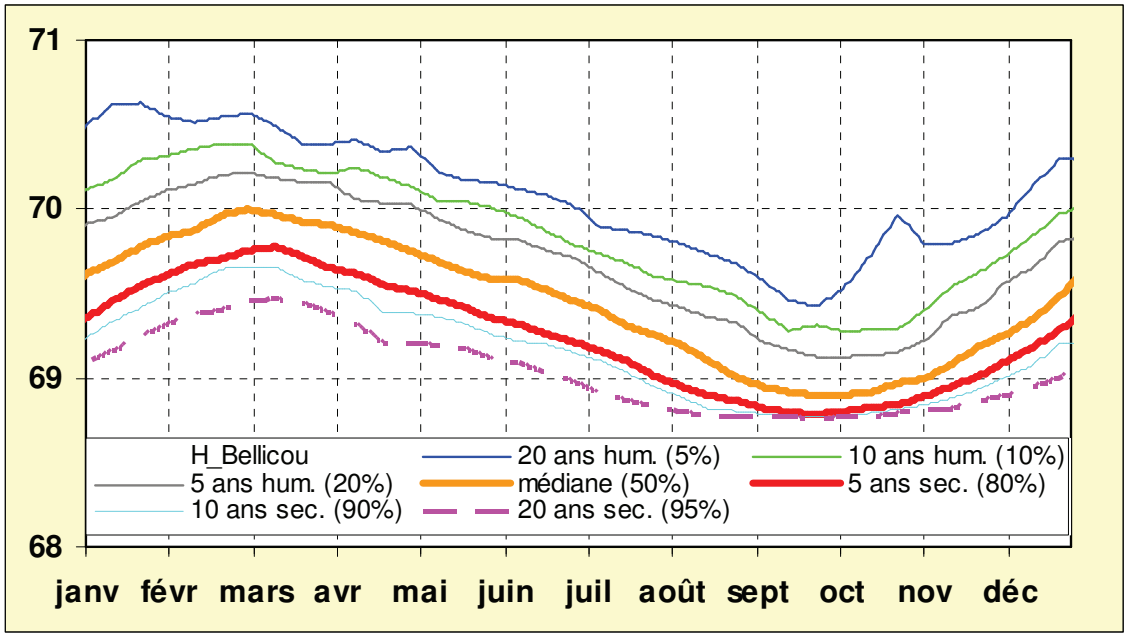


Illustration 51 : Modélisation du piézomètre de Bellicou (Dogger), de haut en bas : superposition du modèle sur la chronique, les différentes composantes, analyse impulsionnelle des composantes lente et rapide



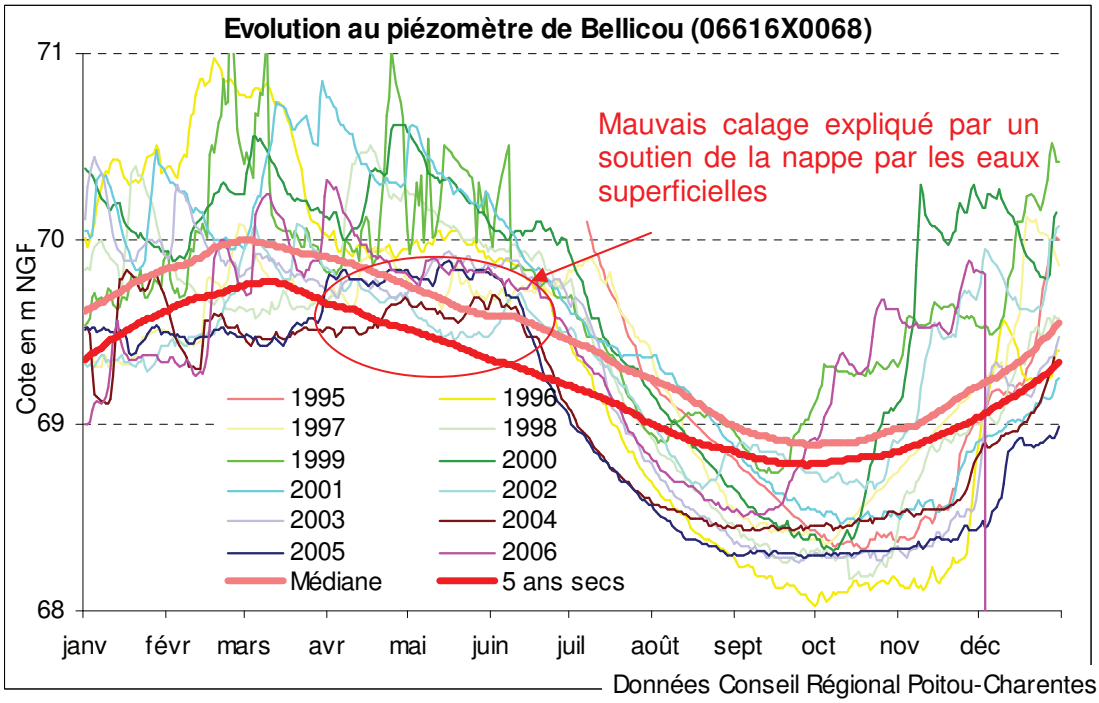


Illustration 52 : Utilisation du modèle du piézomètre de Bellicou en prévision : en haut courbes non influencé par les pompages avec période de retour, en bas superposition des courbes médiane et 5 ans secs sur les chroniques annuelles.

Piézomètre de Longré (06604X0179) Jurassique supérieur

Le piézomètre de Longré est situé à l'amont du bassin de l'Aume. Avec une profondeur de 30 m il capte la nappe du Jurassique supérieur, située dans des niveaux fissurés et altérés de formations calcaréo-marneuses. Ces niveaux d'altération dépassent rarement 30 m de profondeur.

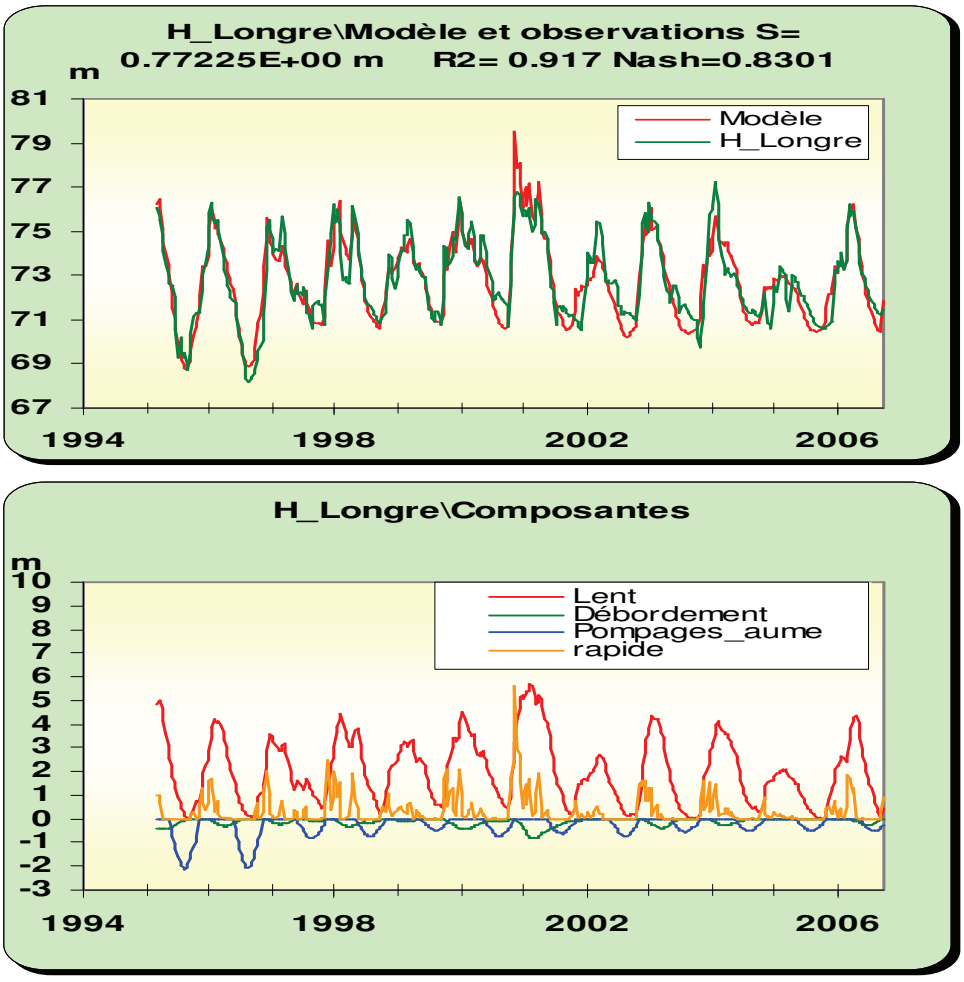
Le modèle (Illustration 53) restitue une composante pompage ayant eu un impact important au cours des années 1995/96. Depuis cet impact est nettement moins fort.

Il existe un seuil de débordement autour de 76 m NGF, ce qui est de l'ordre de grandeur de la cote topographique de la rivière située à environ 200 m de l'ouvrage.

La composante rapide présente un pic au bout d'une dizaine de jours. La composante lente a un impact maximal sur la piézométrie au bout d'environ 1 mois. Le passage de la pluie efficace se fait à peu prés en 6 mois.

Cette analyse montre un comportement caractéristique de la nappe du Jurassique supérieur. Cette nappe de milieu fissuré présente une inertie faible : la perméabilité y est élevée dans le réseau de fissures. En revanche les stocks sont globalement peu importants.

Selon le modèle (Illustration 54), la cote d'étiage 5 ans secs (non-influencée) serait de l'ordre de 71 m NGF. La courbe 2005 est assez proche de la courbe 20 ans secs. Sur ces graphes, l'impact des pompages (1995 et 1996) est très net.



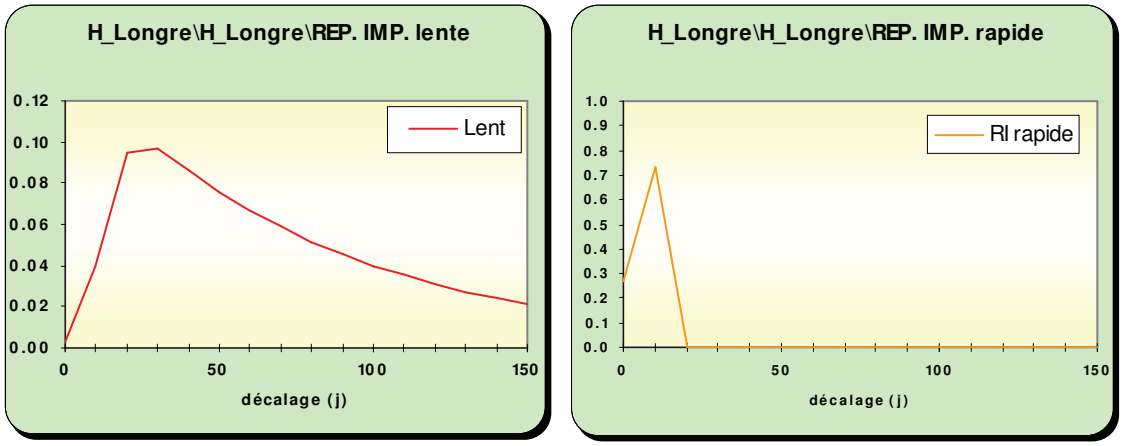


Illustration 53 : Modélisation du piézomètre de Longré (Jurassique supérieur), de haut en bas : superposition du modèle sur la chronique, les différentes composantes, analyse impulsionnelle des composantes lente et rapide

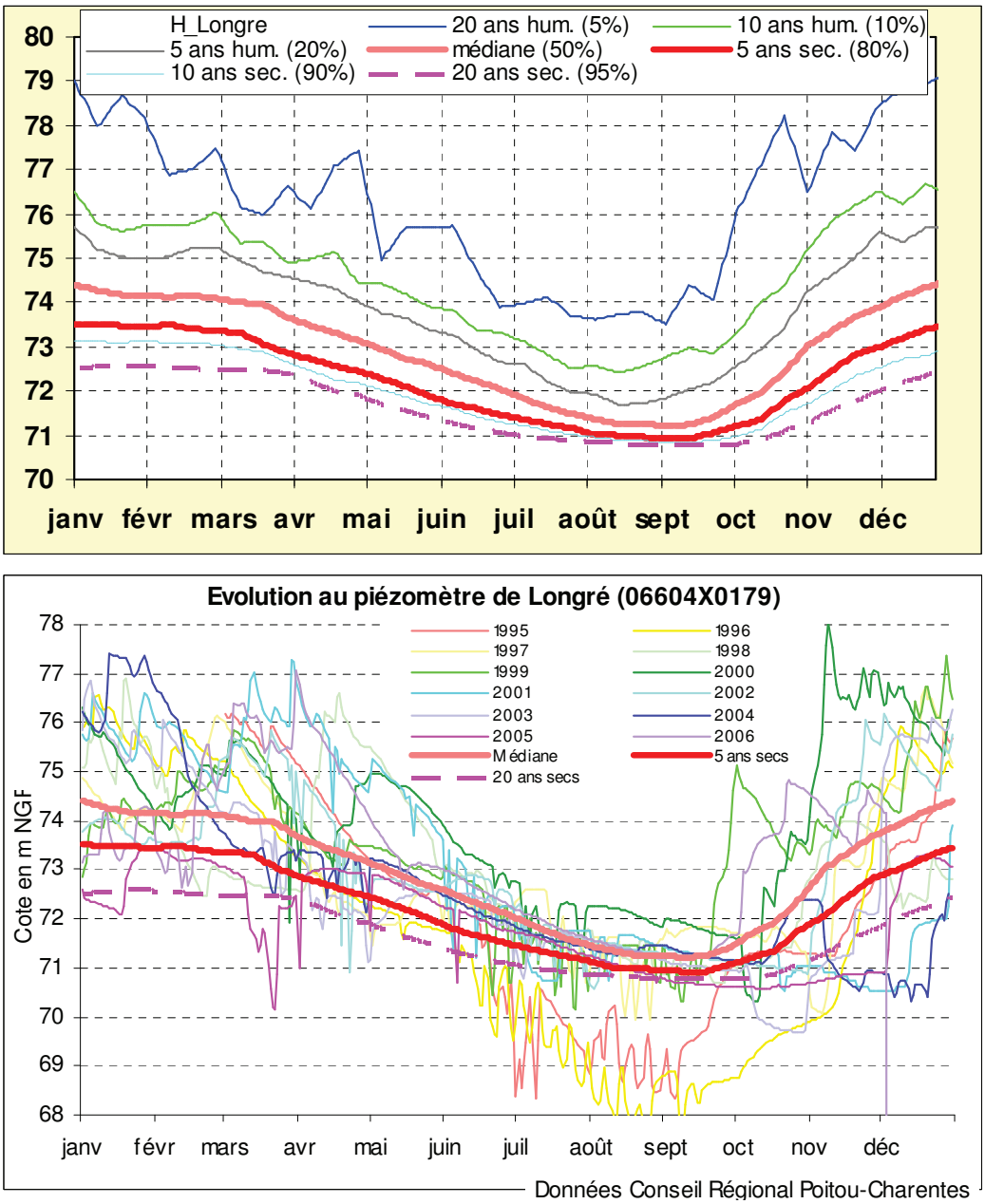


Illustration 54 : Utilisation du modèle du piézomètre de Longré en prévision : <u>en haut</u> courbes non influencé par les pompages avec période de retour, <u>en bas</u> superposition des courbes médianes, 5 et 20 ans secs sur les chroniques annuelles.

Piézomètre de St-Fraigne (06608X0027) Jurassique supérieur

Ce piézomètre se trouve dans la vallée de La Couture à plus de 300 m de la rivière. Avec 100 m de profondeur, il capte l'aquifère fissuré des marnes et calcaires du Jurassique supérieur.

L'impact des pompages se marque certaines années (1996, 2005). Il existe un seuil de débordement autour de 80.5 m NGF ce qui correspond à peu prés à la cote de la rivière au droit du forage.

La modélisation fait apparaître uniquement une composante lente mais avec un pic au bout de moins d'un mois et le passage d'une pluie efficace en environ 6 mois. En revanche, la mise en charge est quasi-immédiate ce qui est caractéristique d'une nappe captive. La profondeur du point et le caractère fissuré du milieu explique vraisemblablement ce comportement.

Comme pour les autres points à la nappe du Jurassique supérieur, cette analyse montre une inertie relativement faible. Les relations sont étroites avec le réseau superficiel qui conditionne les cotes de débordement comme des seuils bas de soutien de la nappe par la rivière. Nous avons vers l'aval des zones de marais à la cote 76-77 m NGF qui correspondent, c'est à noter, aux niveaux d'étiage de la nappe enregistrés sur ce piézomètre.

Le modèle utilisé en prévision donne une cote d'étiage 5 ans secs non influencée autour de 76 m NGF (Illustration 56). On peut observer, en superposant les courbes théoriques sur les chroniques annuelles, un léger décalage à la fin du printemps/début de l'été, expliqué, nous l'avons vu par ailleurs, par un soutien des eaux de surface. Lorsque ce soutien ne s'exerce plus, le niveau de la nappe plonge.

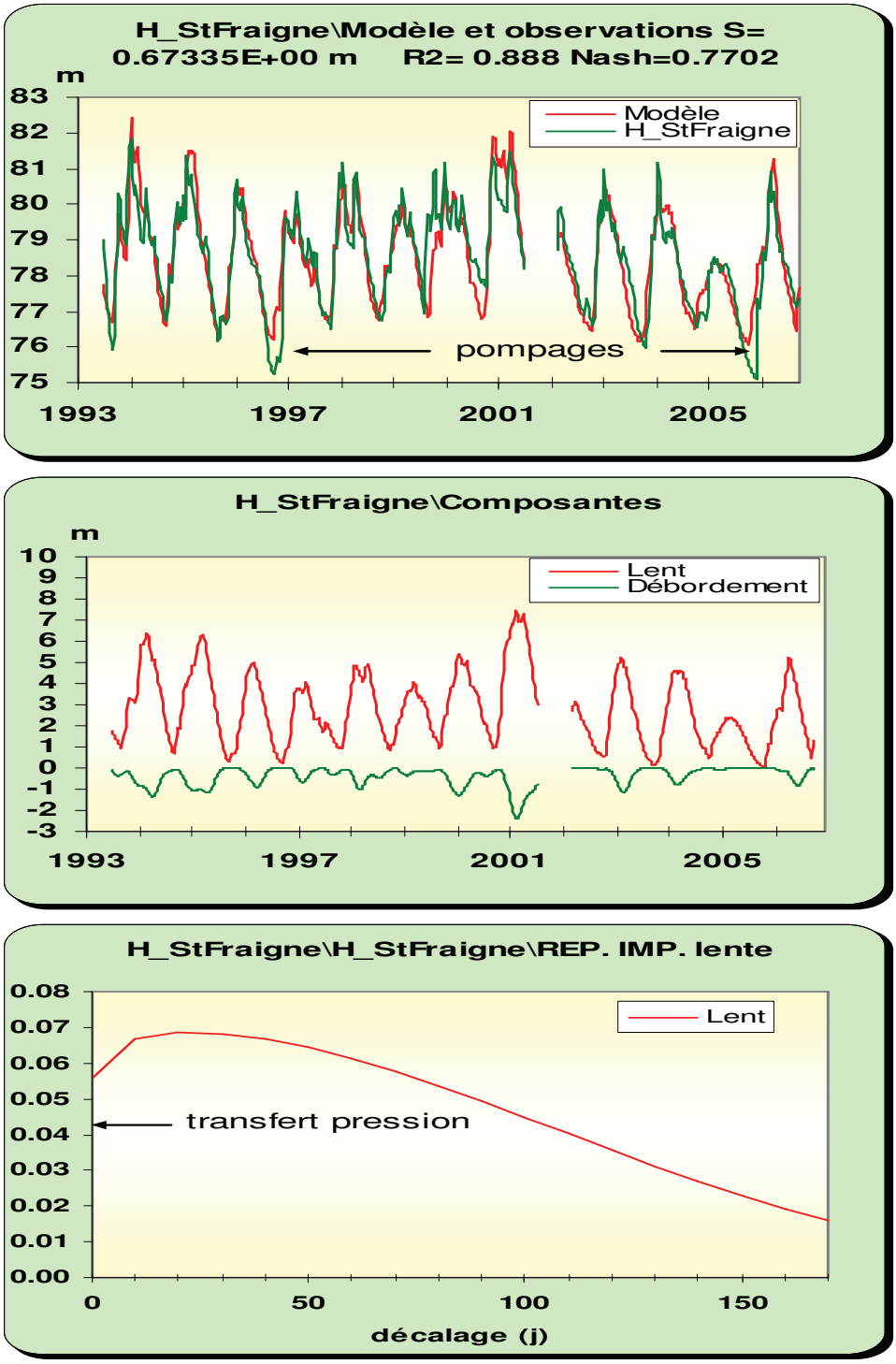


Illustration 55 : Modélisation du piézomètre de St-Fraigne (Jurassique supérieur), de haut en bas : superposition du modèle sur la chronique, les différentes composantes, analyse impulsionnelle de la composante lente.

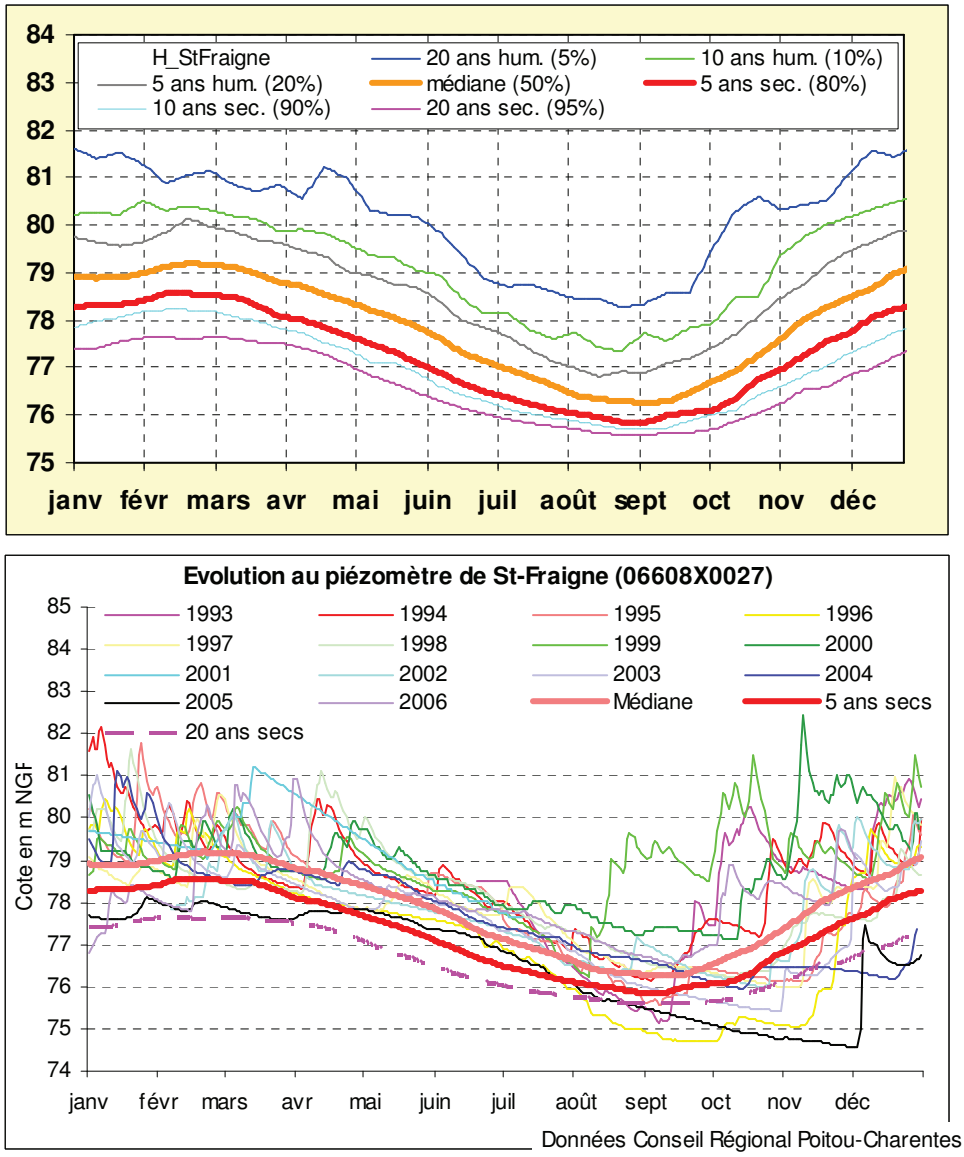


Illustration 56 : Utilisation du modèle du piézomètre de St-Fraigne en prévision : <u>en haut</u> courbes non influencé par les pompages avec période de retour, <u>en bas</u> superposition des courbes médiane, 5 et 20 ans secs sur les chroniques annuelles.

Piézomètre de Villiers (06607X0024) Jurassique supérieur

Situé à l'amont et en limite du bassin versant de la Couture, prés du ruisseau Le Gazon, ce piézomètre, de 240 m de profondeur mais rebouché à 30 m (?), capte la nappe du Jurassique supérieur.

Ce piézomètre présente une cote de débordement très nette, autour de 100 à 101 m NGF qui correspond aussi à la cote topographique de la rivière à proximité.

Ce piézomètre montre un comportement assez similaire au précédent (St-Fraigne) avec :

- uniquement une composante lente avec un pic au bout d'environ 1 mois et un retour à 0 au bout de plus de 6 mois,

- une mise en charge immédiate typique d'une nappe captive.

Ce comportement illustre un aquifère à faible inertie (perméabilité élevée dans les fissures et faible stock d'eau), de milieu fissuré, en relation avec le réseau hydrologique superficiel.

Situé en amont du bassin versant, ce piézomètre n'est pas influencé par les pompages.

Le niveau d'étiage 5 ans secs donné par le modèle utilisé en prévision est de l'ordre de 89 m NGF (Illustration 58). Cette cote d'étiage semble aussi correspondre à un niveau de base lié aux eaux superficielles et à rechercher plus à l'aval du bassin versant.

L'année 2005 correspond à peu prés à la courbe 20 ans secs.

Avec des battements annuels élevés, ce piézomètre peut être utilisé pour indiquer l'état de la ressource souterraine.

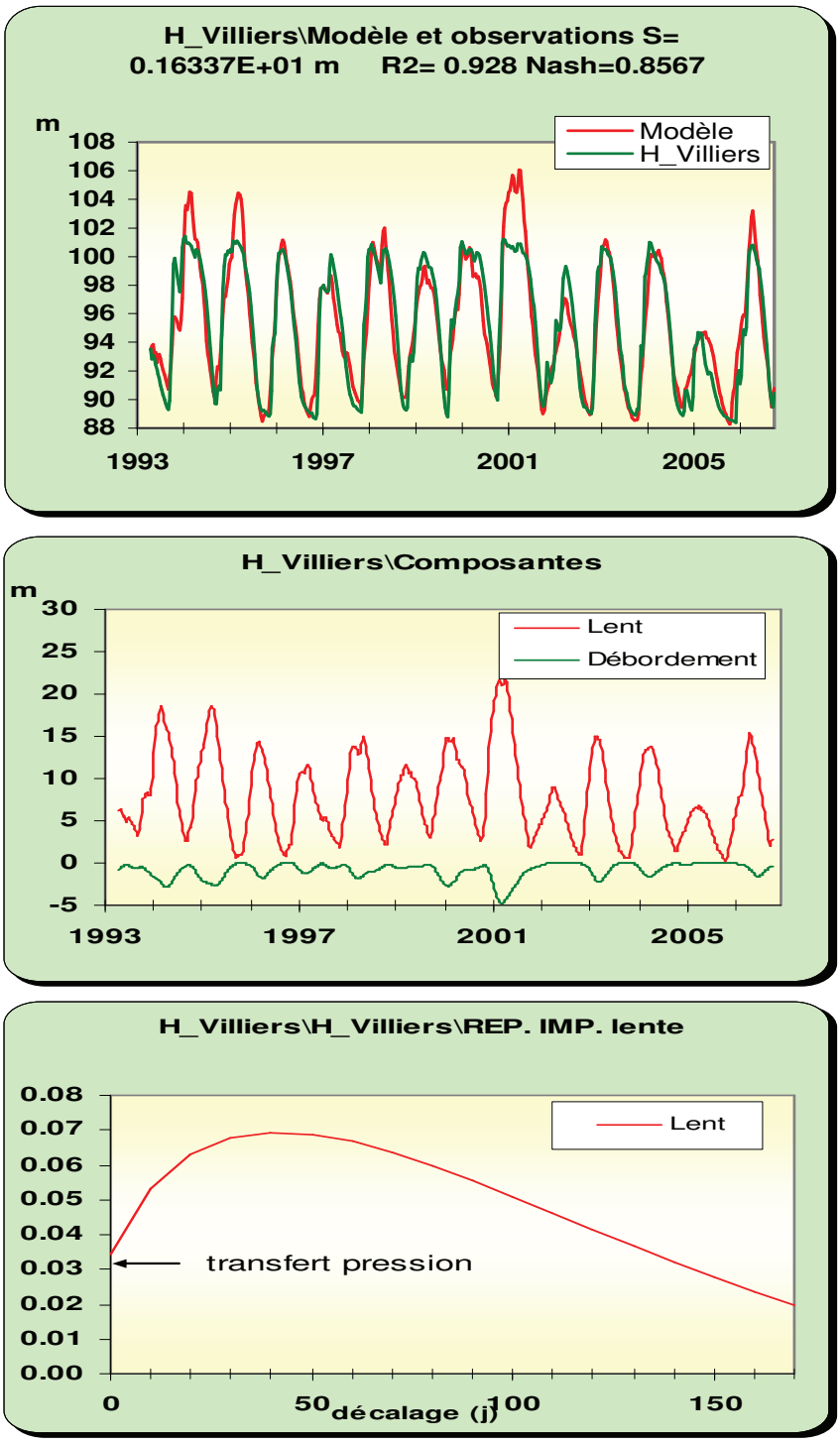


Illustration 57 : Modélisation du piézomètre de St-Fraigne (Jurassique supérieur), de haut en bas : superposition du modèle sur la chronique, les différentes composantes, analyse impulsionnelle de la composante lente.

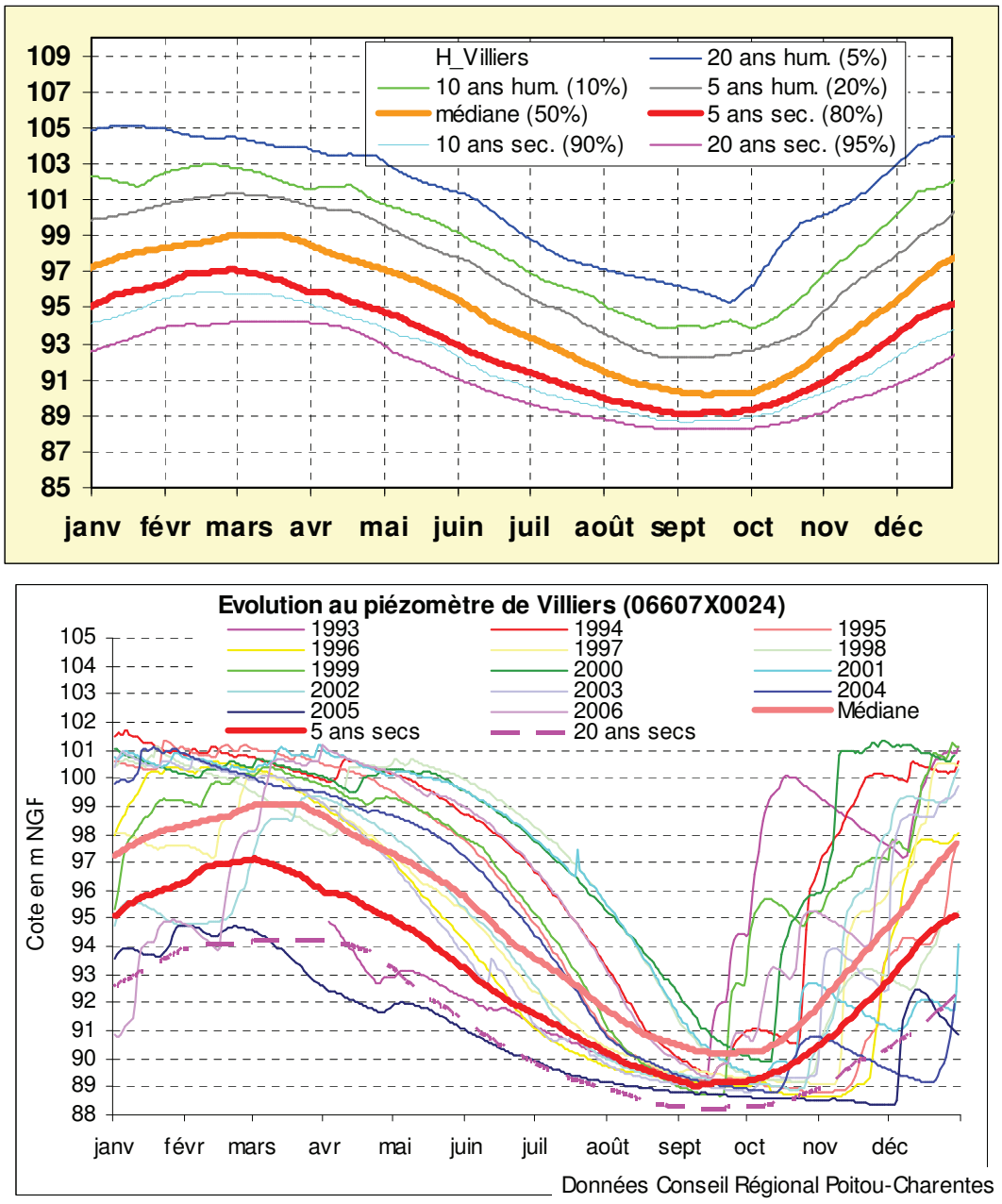


Illustration 58 : Utilisation du modèle du piézomètre de Villiers-Couture en prévision : <u>en haut</u> courbes non influencé par les pompages avec période de retour, <u>en bas</u> superposition des courbes médiane, 5 et 20 ans secs sur les chroniques annuelles.

Piézomètre d'Aigre (06851X0071) Jurassique supérieur

Contrairement aux trois ouvrages précédents, ce piézomètre est situé à l'aval du bassin versant de l'Aume-Couture, très prés de la rivière. Avec 26 m de profondeur, il capte la nappe du Jurassique supérieur (calcaires et marnes du Kimméridgien).

Comme pour certains piézomètres précédents, le modèle met en évidence l'impact des pompages, particulièrement marqué avant 1997. Il semble que l'ensemble du bassin versant de l'Aume-Couture ait connu durant cette période des pompages importants.

Il existe un seuil de débordement positionné dans le modèle à 65.3 m NGF ce qui correspond à peu prés à la cote de la rivière. Ces relations étroites avec la rivière sont aussi corroborées par les battements annuels faibles.

Il n'existe qu'une composante lente avec, comme pour les piézomètres précédents à la même nappe, le maximum d'impact d'une impulsion pluie au bout d'un mois et le passage de l'impulsion au bout d'environ 6 mois. Par ailleurs, la mise en charge est quasi-immédiate traduisant des transferts de pression caractéristiques d'une nappe captive.

Là encore, la structure de l'aquifère explique ce comportement. L'eau météorique circule dans le réseau de fissures qui met la nappe en relation avec la surface, voire avec le cours d'eau. La matrice marneuse est en revanche peu perméable expliquant la « captivité » localisée de la nappe.

La superposition des courbes théoriques obtenues par l'utilisation du modèle en prévision sur les chroniques annuelles (Illustration 60) montre un calage moins bon à la fin du printemps/début de l'été. Les chroniques présentent un palier, un peu au-dessus de 65 m NGF, qui perdure en général jusqu'à fin juin. Là encore, ce décalage entre chronique et modèle illustre le soutien de la nappe par la rivière durant cette période. Lorsque le débit de la rivière ne permet plus ce soutien (voire que la rivière est à sec), le niveau de la nappe décroche de ce palier.

Le niveau « naturel » d'étiage 5 ans secs est situé autour de 64.6 m NGF.

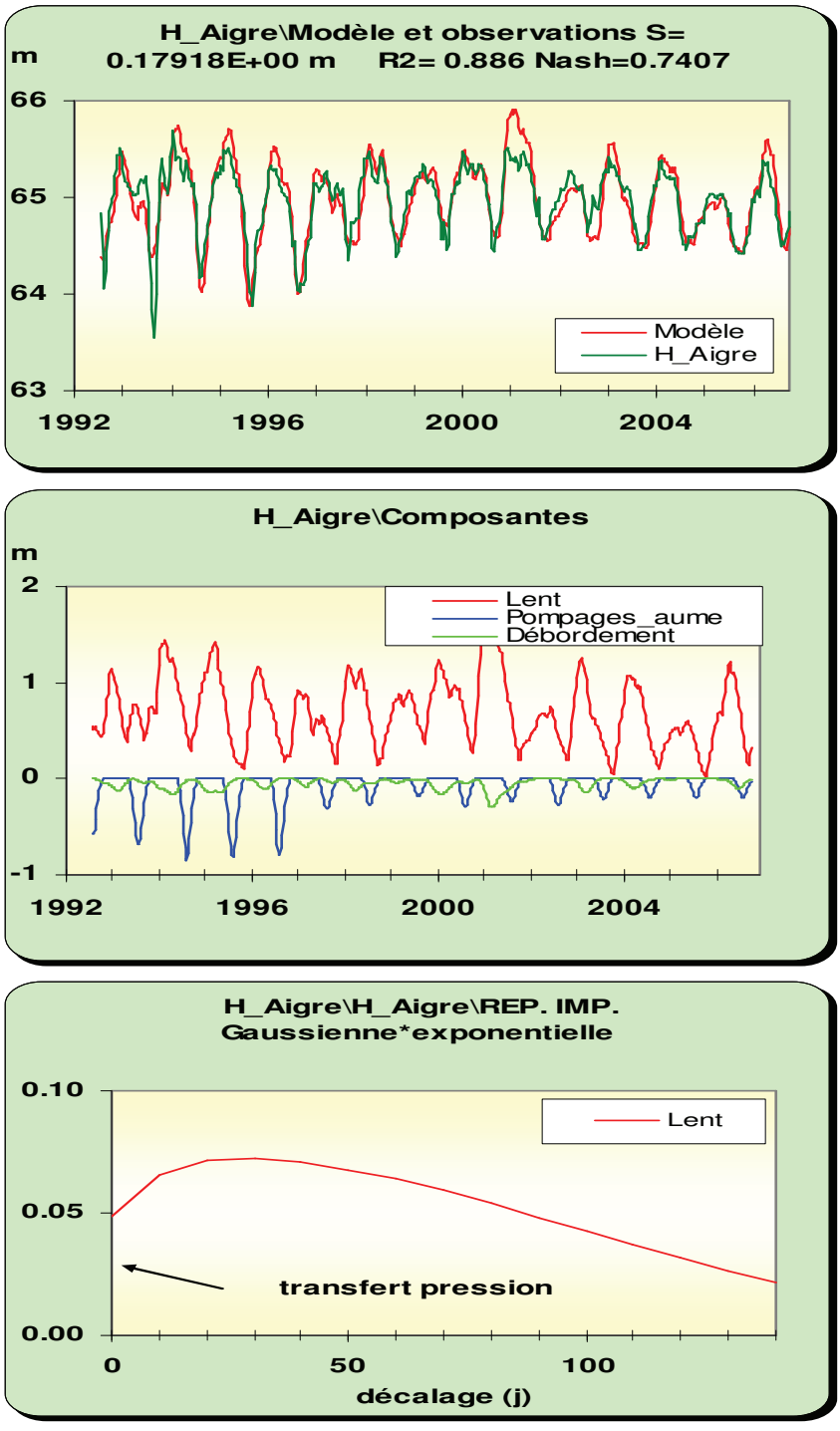


Illustration 59 : Modélisation du piézomètre de d'Aigre (Jurassique supérieur), de haut en bas : superposition du modèle sur la chronique, les différentes composantes, analyse impulsionnelle de la composante lente.

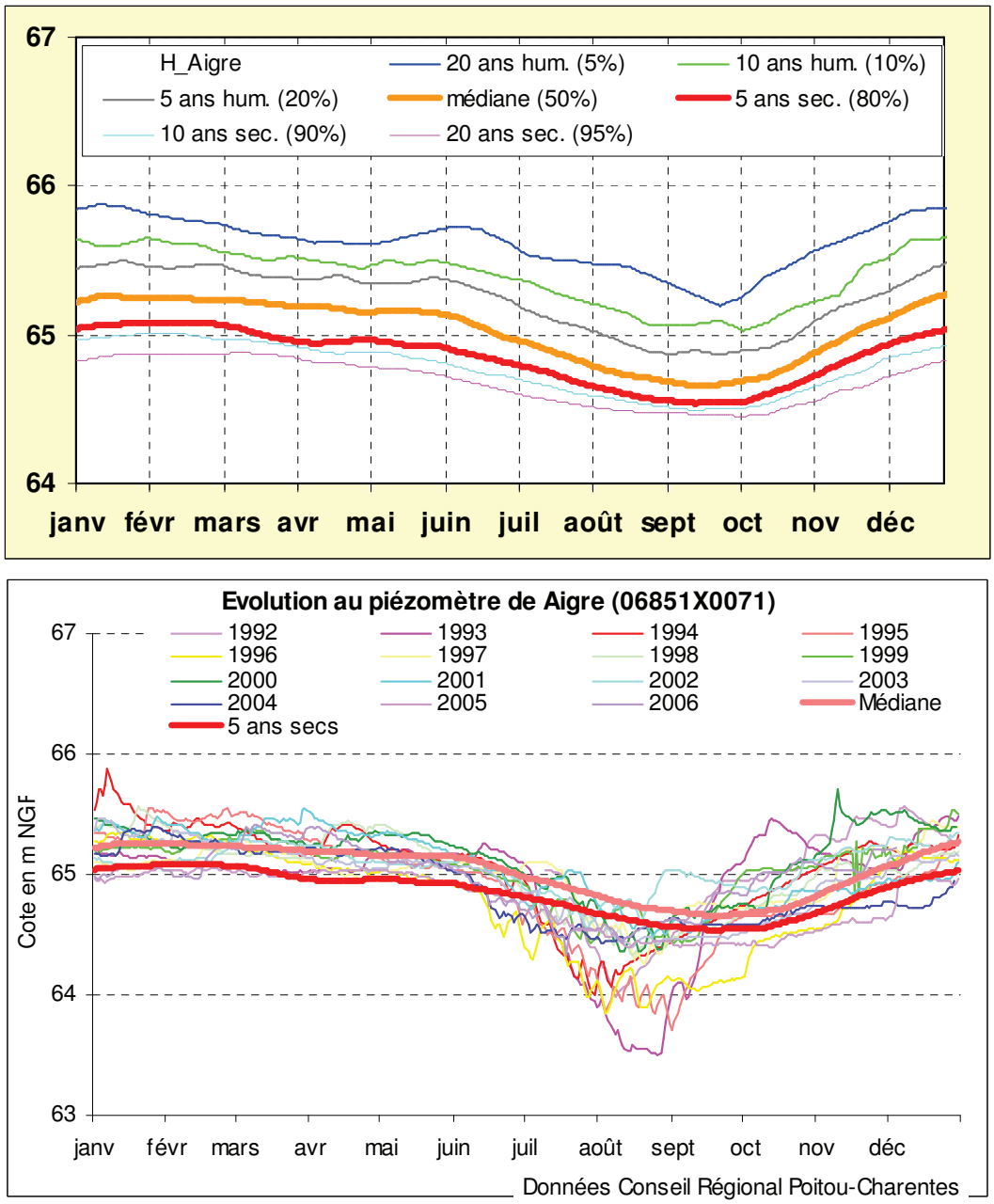


Illustration 60 : Utilisation du modèle du piézomètre d'Aigre en prévision : <u>en haut</u> courbes non influencé par les pompages avec période de retour, <u>en bas</u> superposition des courbes médiane et 5 ans secs sur les chroniques annuelles.

Piézomètre de Montigne (06844X0070) Jurassique supérieur

Ce piézomètre est situé à l'amont du bassin versant de l'Auge qui se jette dans la Charente à l'aval de la confluence avec l'Aume. Ce piézomètre capte la nappe du Jurassique supérieur. Toutefois, il n'y a plus d'enregistrement depuis 2004.

Le battement de la nappe sur Montigné est faible, autour de 4 m. Malgré une chronique courte, le modèle apparaît relativement bien calé, compte tenu aussi de ces battements faibles. Il restitue une composante rapide minoritaire et une composante lente prépondérante avec un « pic » au bout de 20 jours.

La chronique présente des battements annuels entre un niveau haut autour de 86 m NGF (débordement) et un niveau bas autour de 88 m NGF.

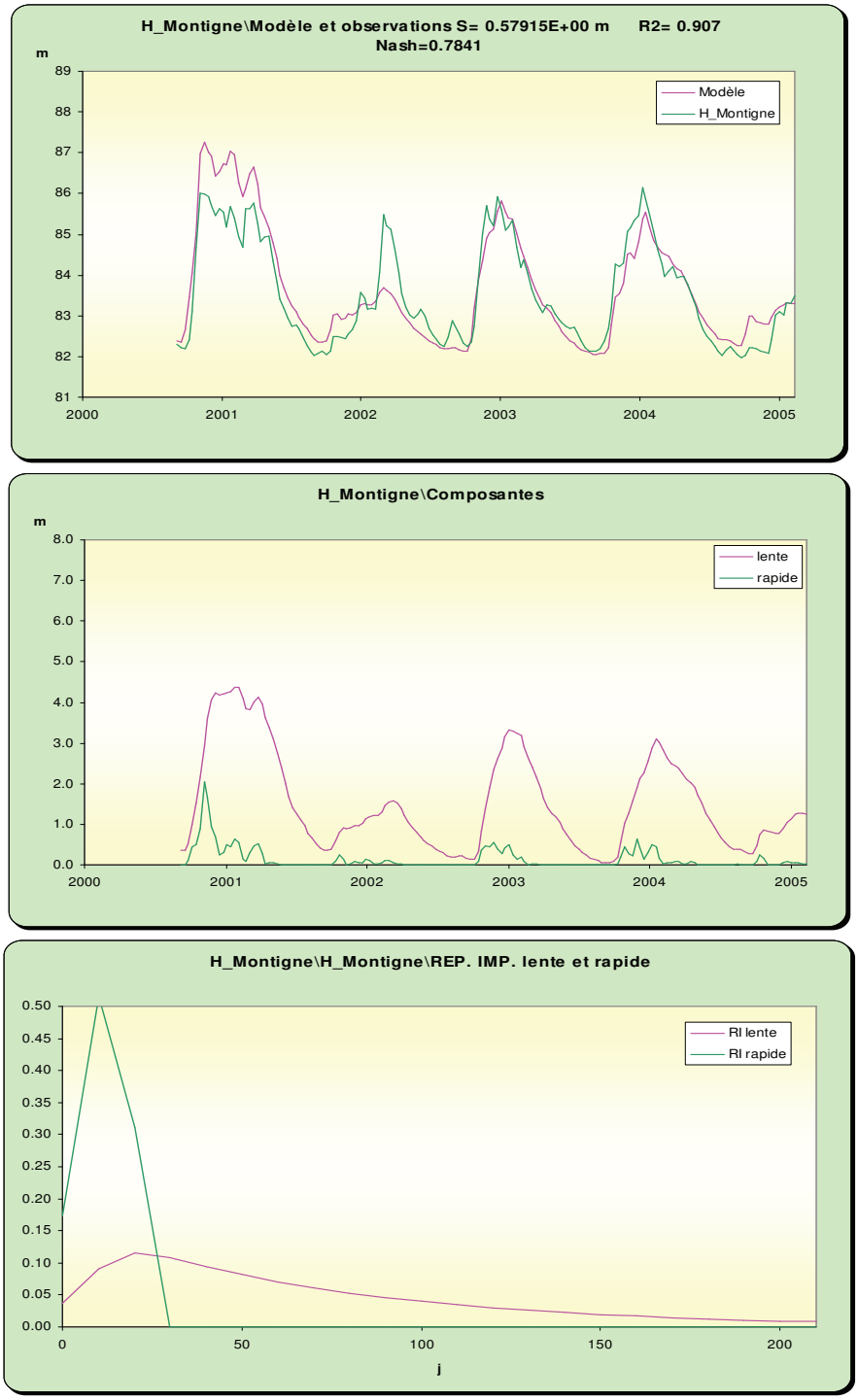


Illustration 61 : Modélisation du piézomètre de Montigné (Jurassique supérieur), de haut en bas : superposition du modèle sur la chronique, les différentes composantes, analyse impulsionnelle des composantes.

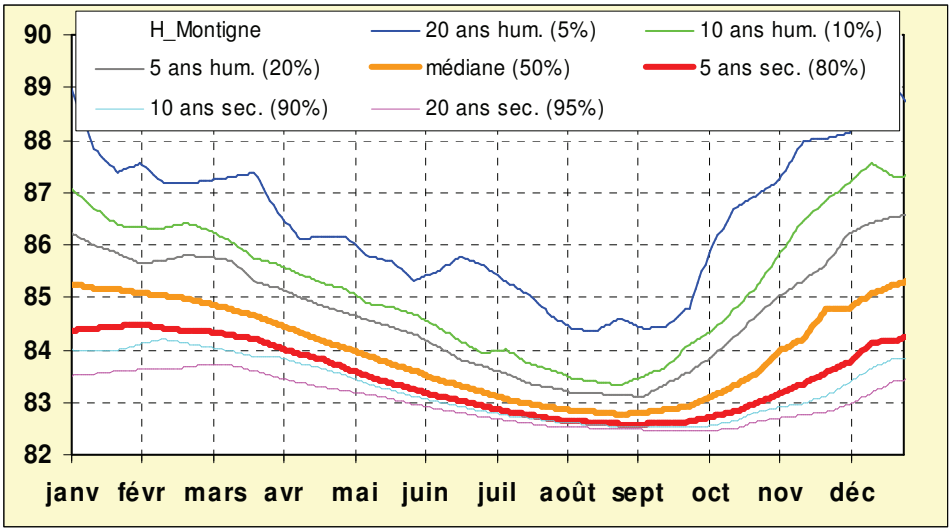


Illustration 62 : Utilisation du modèle du piézomètre de Montigné en prévision : courbes non influencé par les pompages avec période de retour.

Piézomètre de Vouillac1 (07092X0077) Jurassique supérieur

Situé à l'aval du bassin de l'Argence, non loin de sa confluence avec la Charente, ce piézomètre peu profond (10 m) capte la nappe du Jurassique supérieur. Il s'agit de calcaires marneux du Kimméridgien.

Malgré une chronique discontinue, ce piézomètre a été modélisé. Le modèle souligne l'existence d'un impact relativement important de pompages saisonniers, vraisemblablement proximaux, certaines années. Aucune fonction pompage n'a toutefois été introduite pour mieux ajuster le modèle.

Chronique et modèle montrent un battement annuel faible (inférieur au mètre hors pompages) et une cote de débordement fixé dans le modèle à 39.5 m NGF, ce qui est à mettre en relation avec la cote de la rivière.

Le modèle met en évidence une composante rapide significative surtout en crue avec un pic à 10 j, et une composante lente avec un pic inférieur au mois et un retour à 0 au bout d'environ 6 mois. On retrouve là la faible inertie des systèmes aquifères fissurés du Jurassique supérieur.

En revanche les 2 composantes (rapide et lente) présente une mise en charge quasi-immédiate caractérisant en général les nappes captives. Ceci est interprété comme des transferts de pression à travers le réseau de fractures qui met en relation la nappe (ici peu profonde) avec la surface, et notamment avec la rivière.

Utilisé en prévision, le modèle restitue des courbes d'évolution (lissées sur 10 j) assez proches pour les années sèches. Le niveau d'étiage « naturel » 5 ans secs est situé autour de 38.7 m NGF. La rivière proche (Argence) contrôle de toute évidence le niveau piézométrique.

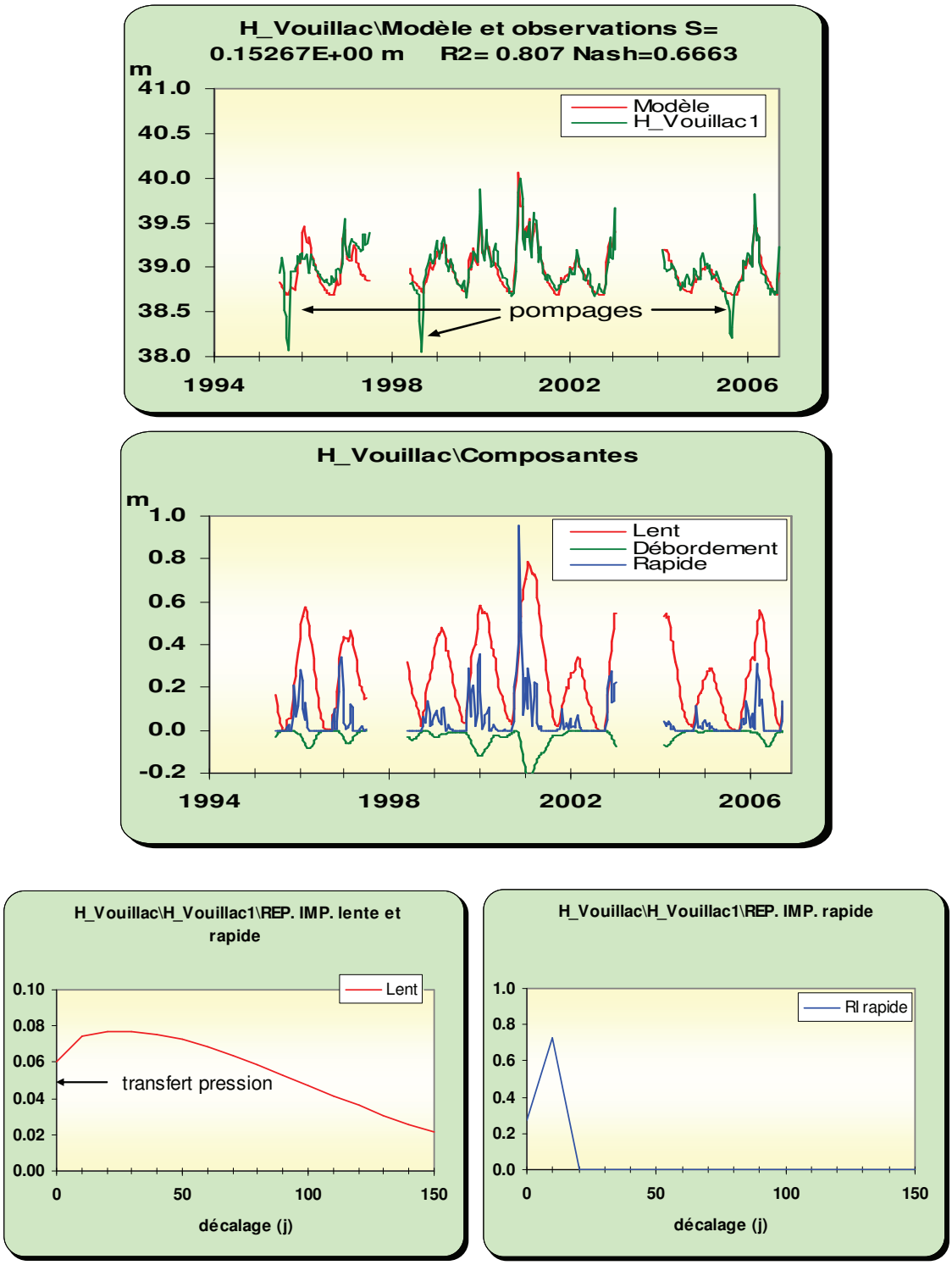


Illustration 63 : Modélisation du piézomètre de Vouillac (Jurassique supérieur), de haut en bas : superposition du modèle sur la chronique, les différentes composantes, analyse impulsionnelle des composantes.

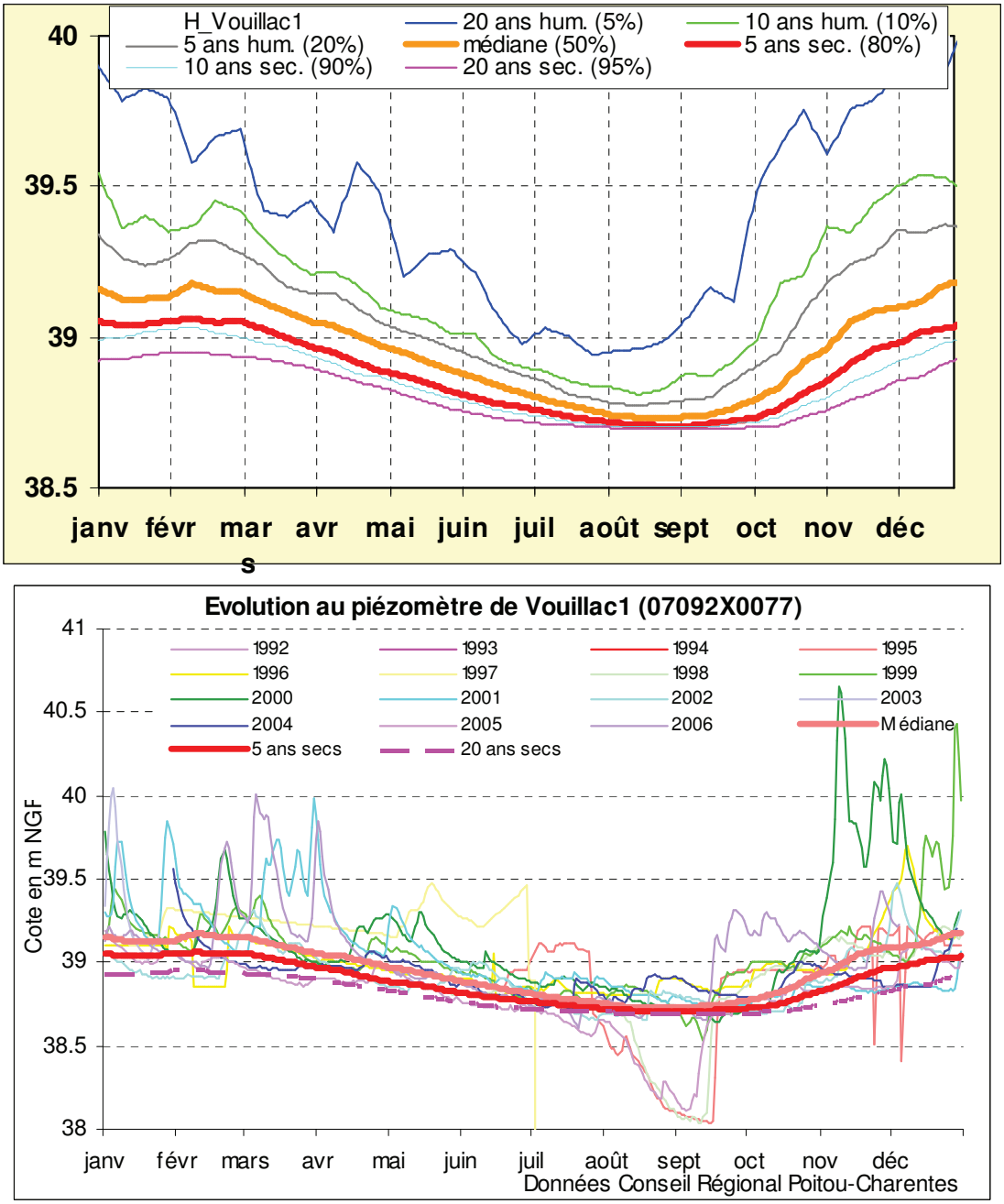


Illustration 64 : Utilisation du modèle du piézomètre de Vouillac en prévision : en haut courbes non influencé par les pompages avec période de retour, en bas superposition des courbes médiane, 5 et 20 ans secs sur les chroniques annuelles.

Piézomètre de Feuillade1 (07106X0518) au Dogger et Feuillade2 (07106X0517) à l'Infra-Toarcien

Ces deux piézomètres sont situés dans la vallée du Bandiat dans une zone où ce dernier se perd dans le karst de La Rochefoucauld pour rejoindre les sources de la Touvre.

Ce système karstique très développé est aussi très complexe et explique la difficulté de la modélisation de ces deux ouvrages.

La comparaison des 2 chroniques (Illustration 65) montre d'une part que la nappe de L'Infra-Toarcien a toujours une pression plus élevée que celle de la nappe du Dogger (donc tendance à une remontée des eaux) et d'autre part des relations (de pression) entre les deux nappes.

La nappe de l'Infra-Toarcien (Feuillade2, 177 m de profondeur) a pratiquement un niveau stable et nous n'avons pas pu modéliser cette chronique (Illustration 66).

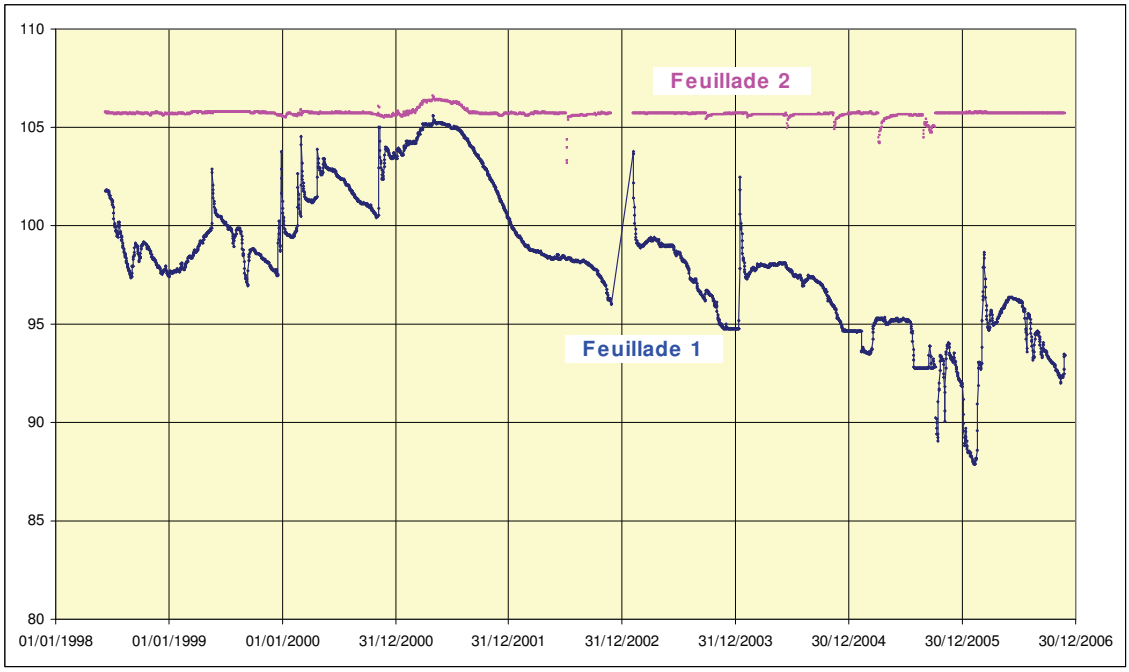


Illustration 65 : Comparaison des chroniques des piézomètres de Feuillade1 (Dogger) et de Feuillade2 (Infra-Toarcien).

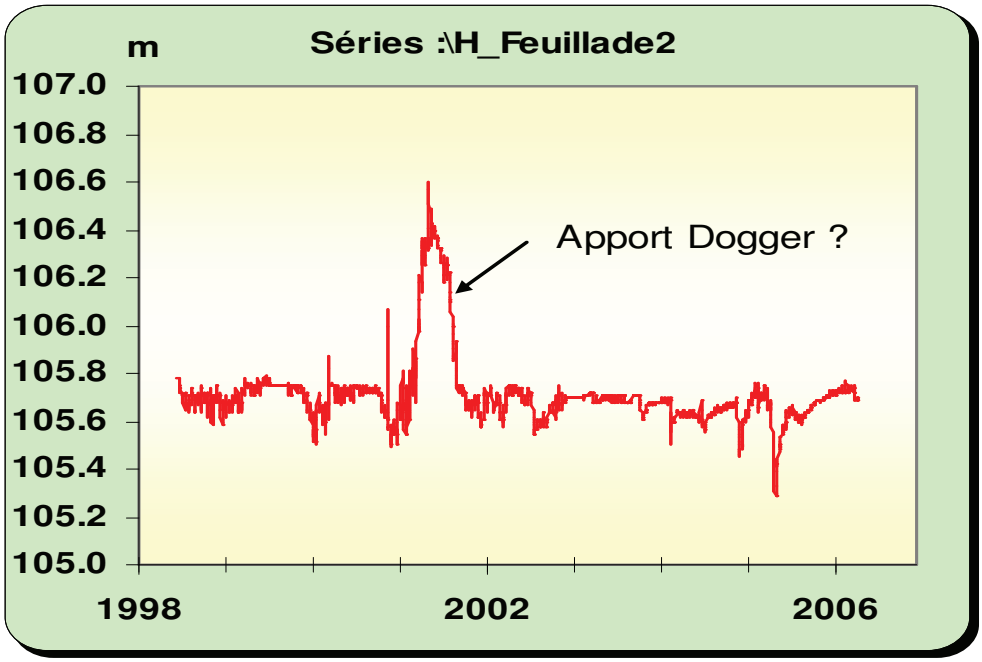


Illustration 66 : Agrandissement de la chronique de la Feuillade2 (Infra-Toarcien) non modélisée.

Le piézomètre au Dogger (Feuillade1) a une profondeur de 32.5 m. La chronique a une allure assez singulière par rapport aux piézomètres analysés jusqu'ici. Sa modélisation donne une composante lente unique avec une grande inertie : 6 mois pour le pic de l'impulsion pluie et 3 ans pour le passage complet de l'impulsion (Illustration 67).

Toutefois, les pertes du Bandiat vers la nappe viennent compliquer l'analyse et vraisemblablement masquer certains phénomènes. La cote de la rivière aux environs du point est de l'ordre de 104 m NGF. La cote de la nappe du Dogger est en général nettement en dessous sauf dans des périodes de très hautes eaux.

Malgré ces difficultés de modélisation de la chronique le modèle utilisé en prévision donne des résultats cohérents (Illustration 68). Les courbes théoriques sont dispersés, sub-parallèles, ce qui cadre avec la chronique des observations ainsi qu'avec une inertie importante. La courbe 5 ans secs donne une valeur d'étiage légèrement supérieure à 95 m NGF. La courbe 20 ans secs se superpose assez bien avec les évolutions de niveau mesurées en 2005 et 2006.

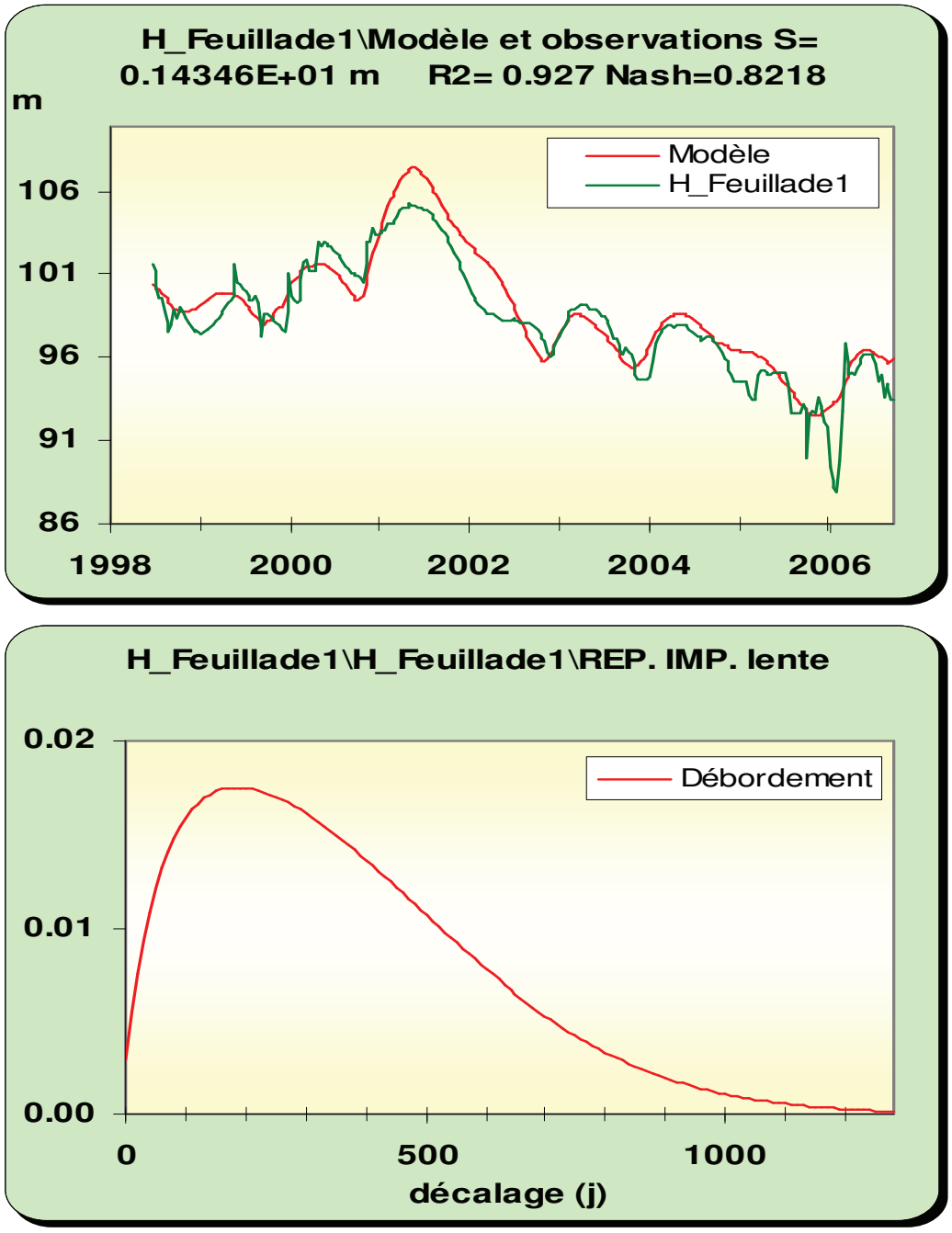
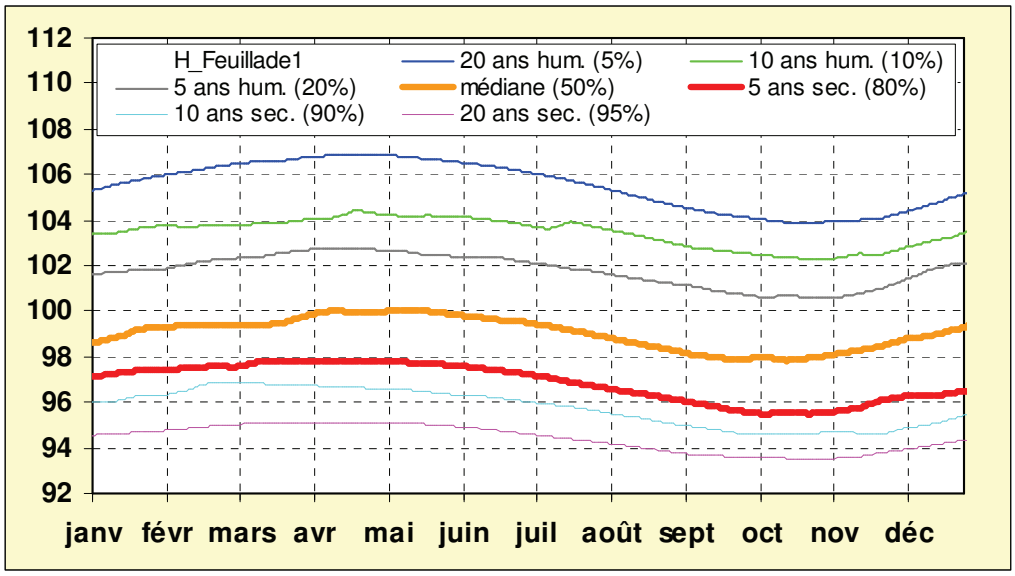


Illustration 67 : Modélisation du piézomètre de la Feuillade1 (Dogger), de haut en bas : superposition du modèle sur la chronique, analyse impulsionnelle de la composante lente.



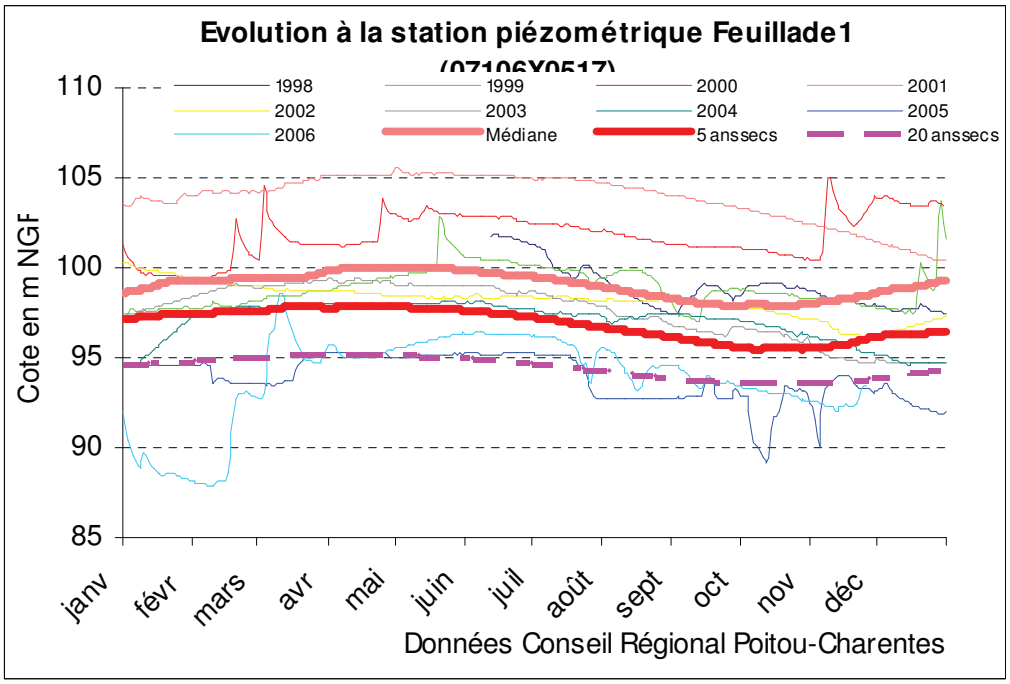


Illustration 68 : Utilisation du modèle du piézomètre de Feuillade1 en prévision : en haut courbes non influencé par les pompages avec période de retour, en bas superposition des courbes médiane, 5 et 20 ans secs sur les chroniques annuelles.

Piézomètre de Chazelles (07101X0041) Dogger

Situé à environ 2,3 km du Bandiat, ce piézomètre d'une profondeur de 130 m dans le karst de la Rochefoucauld capte la nappe du Dogger.

La chronique montre un battement annuel de l'ordre de 25 m. Sa modélisation a du faire appel à l'introduction d'une tendance à la baisse pour améliorer le calage. Toutefois, ce dernier reste peu satisfaisant en basses eaux. L'impact des pompages (aucune fonction Peigne n'a été introduite dans ce modèle), les pertes des rivières et le caractère très karstique de l'aquifère, les discontinuités et anomalies dans la chronique de mesures pourraient aussi expliquer ces difficultés pour reproduire le comportement du niveau piézométrique.

Le graphe piézométrique se décomposerait en une composante lente et des débordements à partir de la cote 75 m NGF. La composante lente présente une mise en charge partielle rapide, un maximum au bout de 2 mois et une inertie assez importante par rapport aux autres piézomètres avec un retour à l'état initial après une impulsion de pluie efficace au bout d'environ 1 an.

En hautes eaux, la cote de la nappe reste nettement au-dessous de la cote du Bandiat (84 m NGF à 2.3 km) avec un différentiel de l'ordre de 10 m. En basses eaux, le niveau de la nappe se trouve à peu prés 10 m au-dessus de la cote des sources de la Touvre (environ 47 m NGF), principal exutoire du karst.

En prévision (Illustration 72), le modèle intègre la tendance à la baisse, ce qui implique des niveaux d'étiage très (trop ?) bas en année sèche (autour de 50 m NGF pour 5 ans secs). Ces résultats sont à regarder avec prudence, la tendance introduite restant une hypothèse de travail et les sources de la Touvre constituant un niveau de base contraignant.

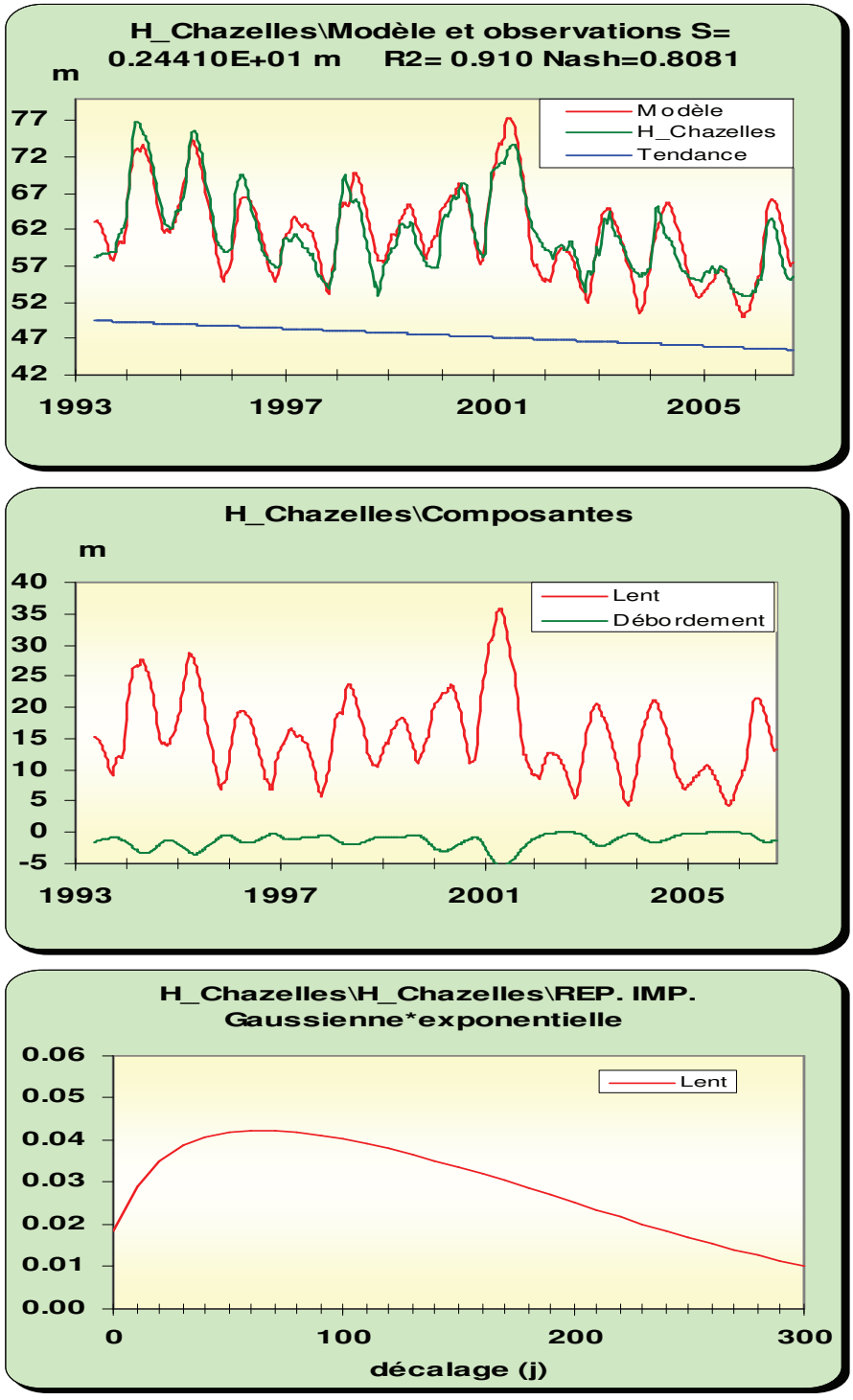
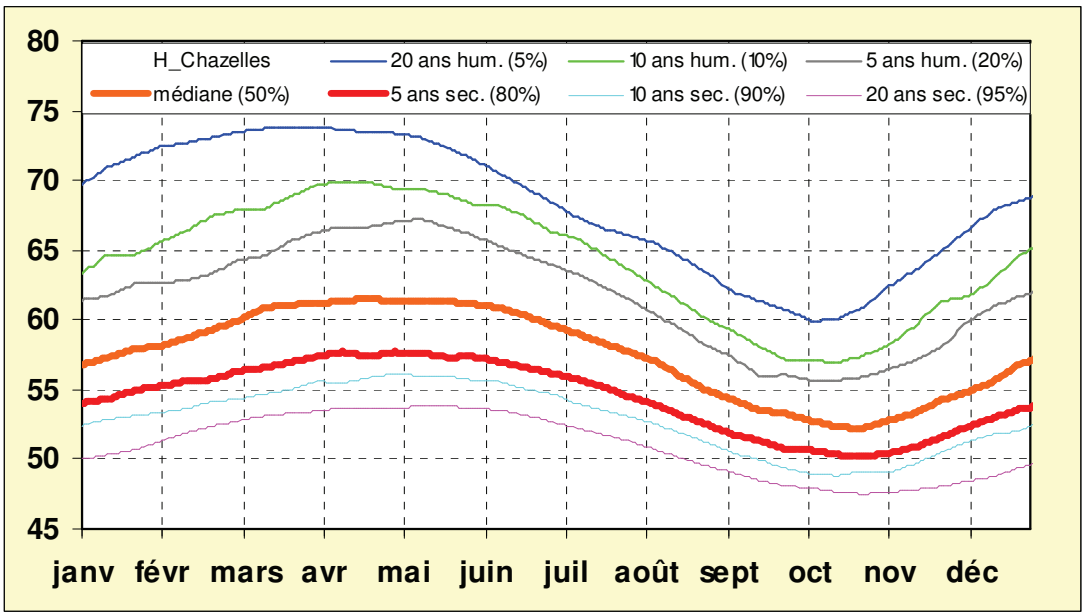


Illustration 69 : Modélisation du piézomètre de Chazelles (Dogger), de haut en bas : superposition du modèle sur la chronique, les différentes composantes, analyse impulsionnelle de la composante lente.



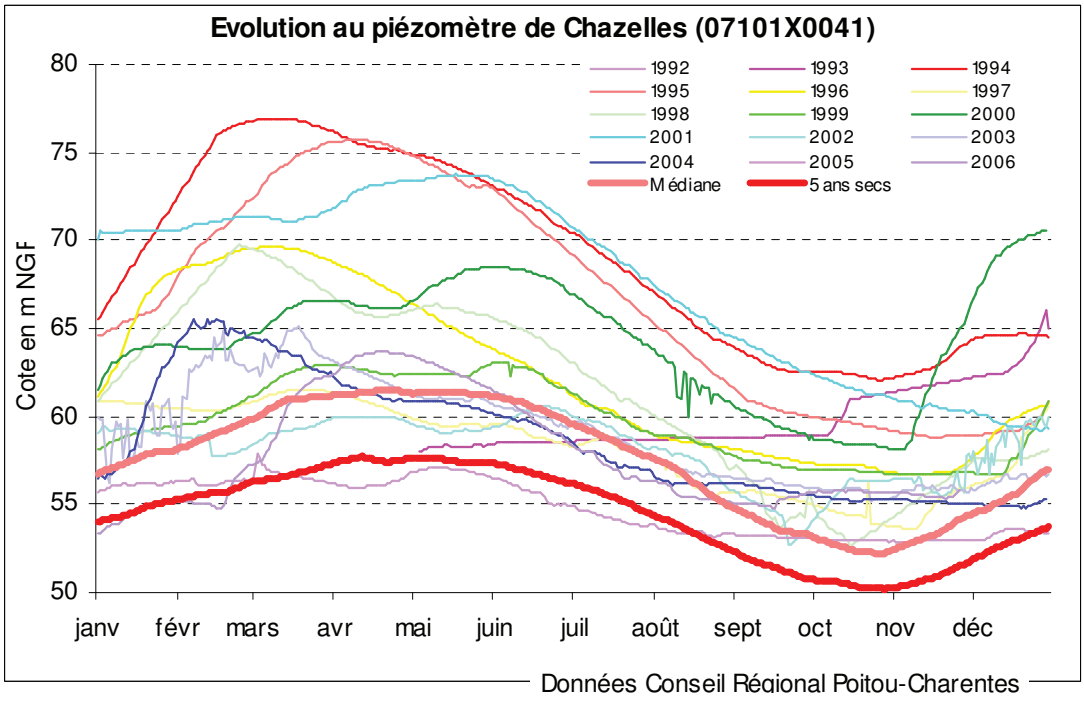


Illustration 70 : Utilisation du modèle du piézomètre de Chazelles en prévision : <u>en haut</u> courbes non influencé par les pompages avec période de retour, <u>en bas</u> superposition des courbes médiane et 5 ans secs sur les chroniques annuelles.

Piézomètre de St-Projet (06865X0020) Dogger

Situé entre Bandiat et Tardoire, ce piézomètre de 98 m de profondeur capte la nappe karstique du Dogger.

La chronique reste nettement au-dessous du niveau de la Tardoire (environ 80 m NGF) située à environ 1 km de ce point. Même en haute eaux il subsiste un différentiel de l'ordre de 10 m.

Pour ajuster le modèle à la chronique, un seuil de débordement à 72 m NGF a été nécessaire. Remarquons que ce seuil est proche de celui déterminé sur le graphe du piézomètre précédent de Chazelles qui est situé à peu prés dans le même contexte. Les battements annuels sont d'ailleurs du même ordre de grandeur, de l'ordre de 25 m.

Dans les deux cas, la nappe du Dogger est nettement au-dessous du réseau hydrographique et aucun élément superficiel ne permet d'expliquer ces débordements. Il est donc très vraisemblable que, dans ce secteur, entre 70 et 75 m NGF, se développe en profondeur un système karstique (rivière souterraine) important permettant d'expliquer ce phénomène de débordement. Les cavités visitables (Fosse mobile par exemple avec un battement de la nappe entre 50 et 70 m NGF) et les effondrements (Grande Fosse avec un fond effondré à une cote de l'ordre de 70 m NGF) sont autant d'indices qui vont dans le même sens.

La décomposition du graphe fait apparaître, outre les débordements, une composante rapide très minoritaire et une composante lente. La composante rapide présente un pic à plus de 10 j. La composante lente présente un maximum au-delà d'un mois et un retour à 0 au bout d'environ 6 mois.

Les mises en charge des composantes sont rapides traduisant des transferts de pression à travers le réseau de fractures.

L'impact des pompages apparaît relativement modéré et lissé et aucune fonction Peigne n'a été nécessaire pour améliorer le calage.

En prévision, les courbes théoriques sont cohérentes avec la chronique de mesures. La courbe 5 ans secs donne une cote d'étiage légèrement inférieure à 52 m NGF. A l'étiage, le gradient piézométrique avec les sources de la Touvre (autour de 47 m NGF) est donc très faible.

Malgré les phénomènes karstiques, les pertes de rivière, ce piézomètre, contrairement aux piézomètres précédents de la Feuillade et de Chazelles, apparaît bien approprié pour la gestion de la ressource souterraine. Les battements sont importants, il est moyennement impacté par les pompages et le modèle obtenu est bien représentatif.

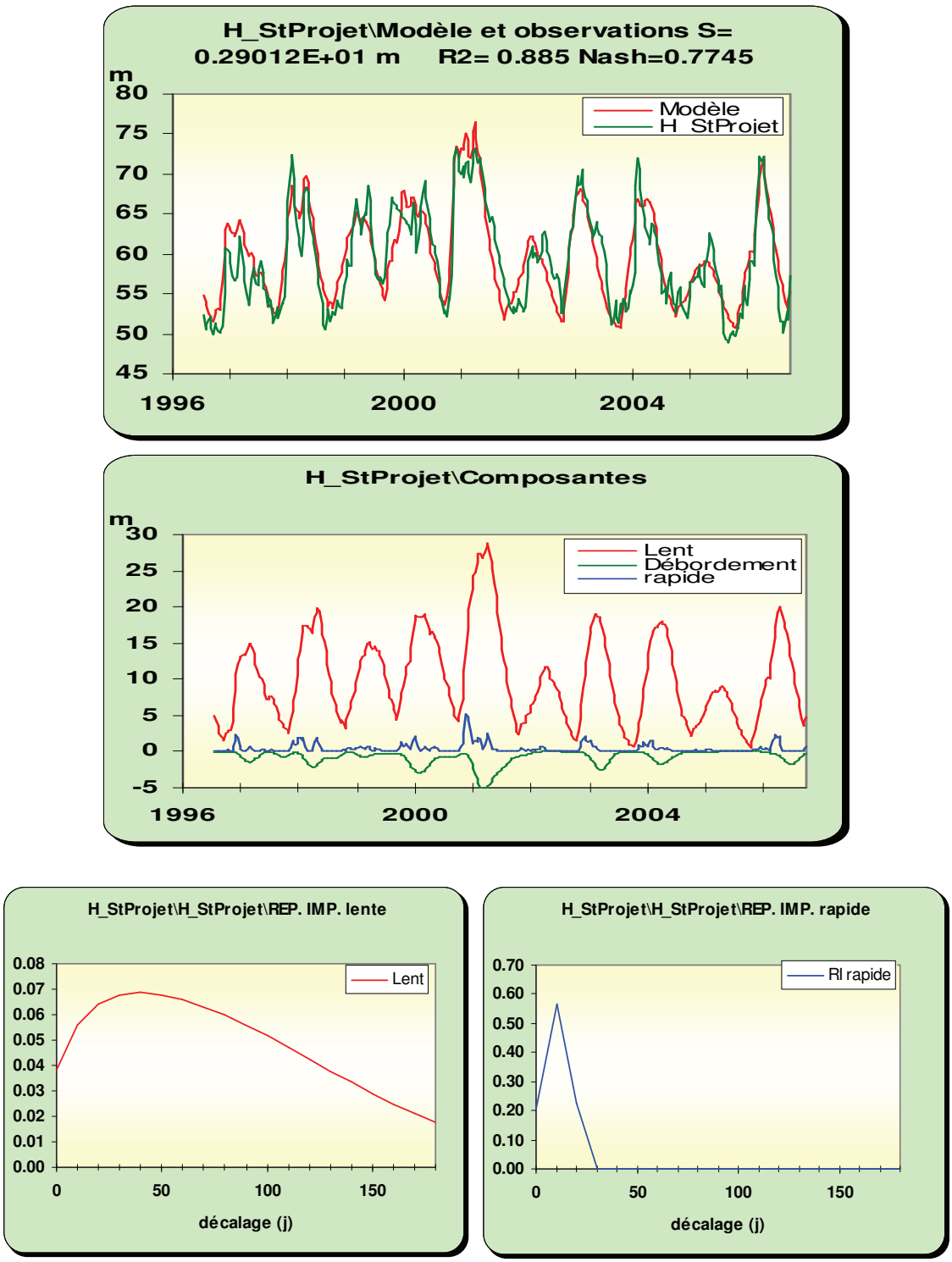
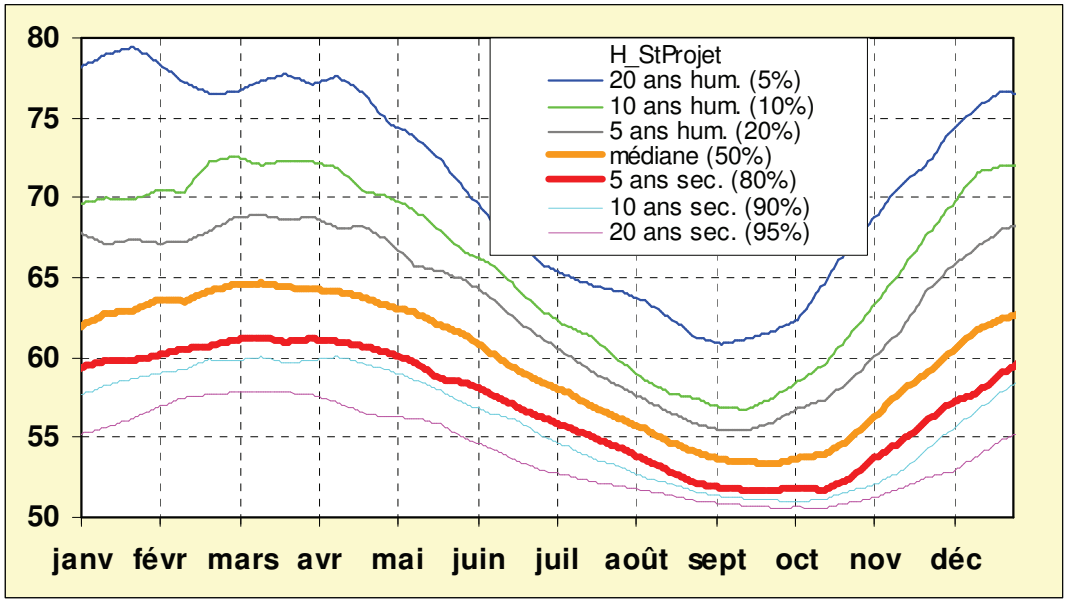


Illustration 71 : Modélisation du piézomètre de St-Projet (Dogger), de haut en bas : superposition du modèle sur la chronique, les différentes composantes, analyse impulsionnelle des composantes lente et rapide.



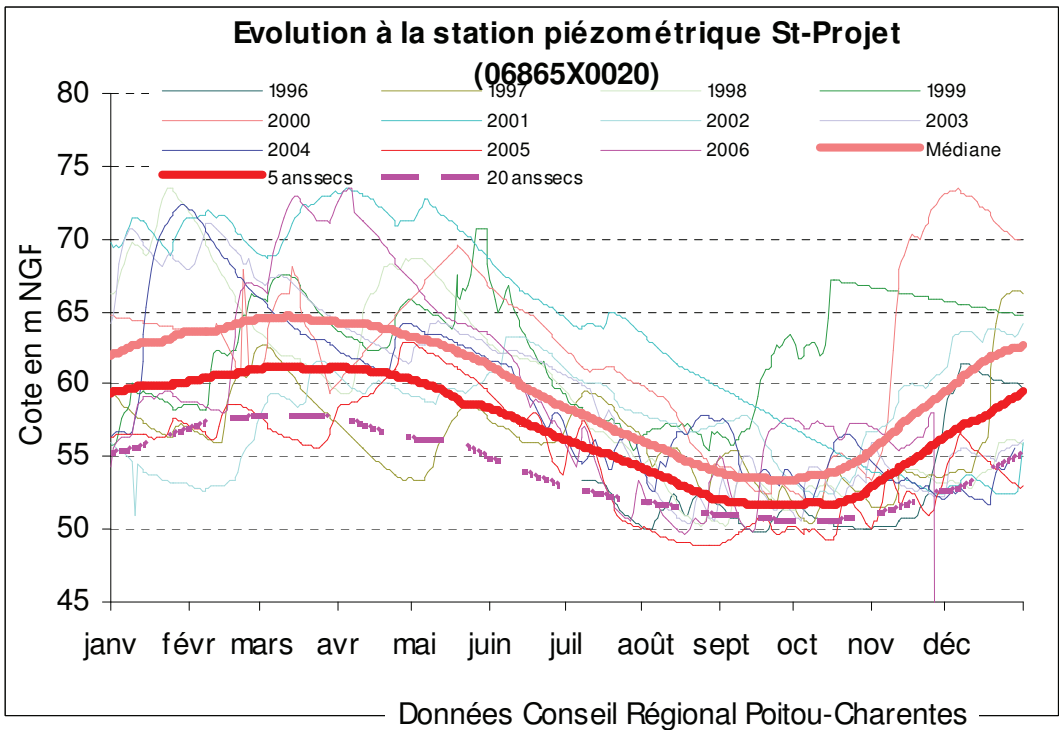


Illustration 72 : Utilisation du modèle du piézomètre de St-Projet en prévision : <u>en haut</u> courbes non influencé par les pompages avec période de retour, <u>en bas</u> superposition des courbes médiane, 5 et 20 ans secs sur les chroniques annuelles.

Piézomètre de La Rochefoucauld (06865X0009) Dogger

Ce piézomètre du bassin de la Tardoire capte la nappe du Dogger (103 m de profondeur).

Sur le piézomètre de La Rochefoucauld, nous disposons de chroniques particulièrement longues ce qui améliore la fiabilité de la modélisation.

Le modèle souligne l'existence de débordement, autour de la cote de 78 m NGF ce qui correspond à la cote de la Tardoire. Ces débordements se font toutefois qu'en année de très hautes eaux.

La composante lente domine très nettement sur les transferts rapides, avec un « pic impulsionnel » au bout de 2 mois et un retour à 0 au bout de 7 mois environ.

Il semble aussi se dessiner de grandes tendances pluriannuelles, les premières années de la chronique étant moins bien calées. Ces tendances « sinusoïdales » correspondraient à des cycles climatiques. Ce constat est souvent fait lorsque l'on dispose d'une chronique longue et complète.

Utilisé en prévision, le modèle donne une cote d'étiage 5 ans secs autour de 48 m NGF[*]. Avec ses courbes théoriques bien individualisées en période d'étiage et sa chronique longue, ce piézomètre est un ouvrage de bonne qualité pour gérer la ressource.

Il est modérément impacté par les prélèvements. La comparaison des courbes théoriques « pseudo-naturelles » et des chroniques montre que les prélèvements se matérialisent plus par une avancée des étiages que par une baisse importante du niveau piézométrique.

[*] Cette valeur particulièrement basse (le niveau de base qui constitue les sources de la Touvre est autour de 47 m NGF) prend vraisemblablement implicitement en compte une partie des pompages.

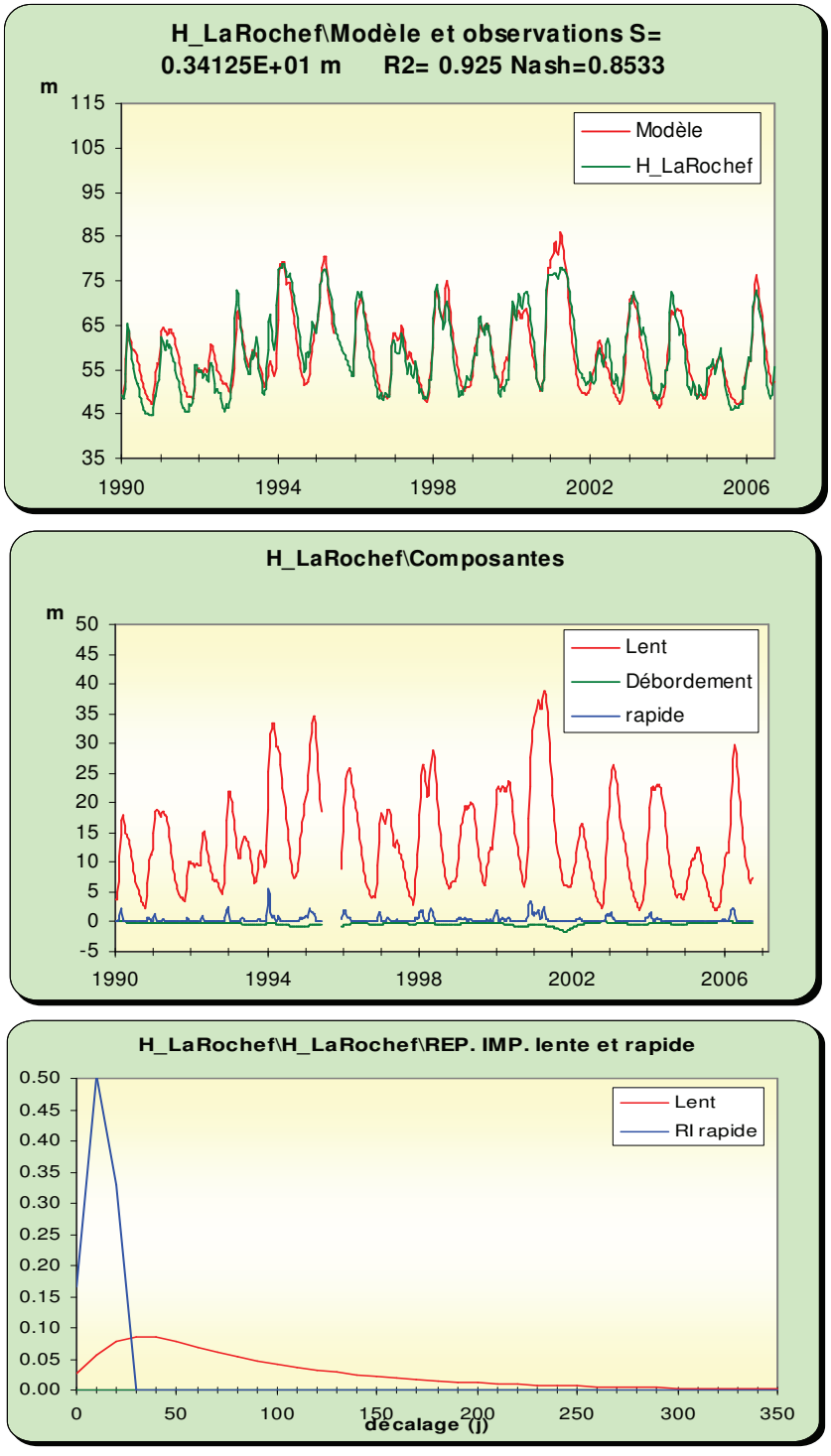


Illustration 73 : Modélisation du piézomètre de La Rochefoucauld (Dogger), de haut en bas : superposition du modèle sur la chronique, les différentes composantes, analyse impulsionnelle des composantes lente et rapide.

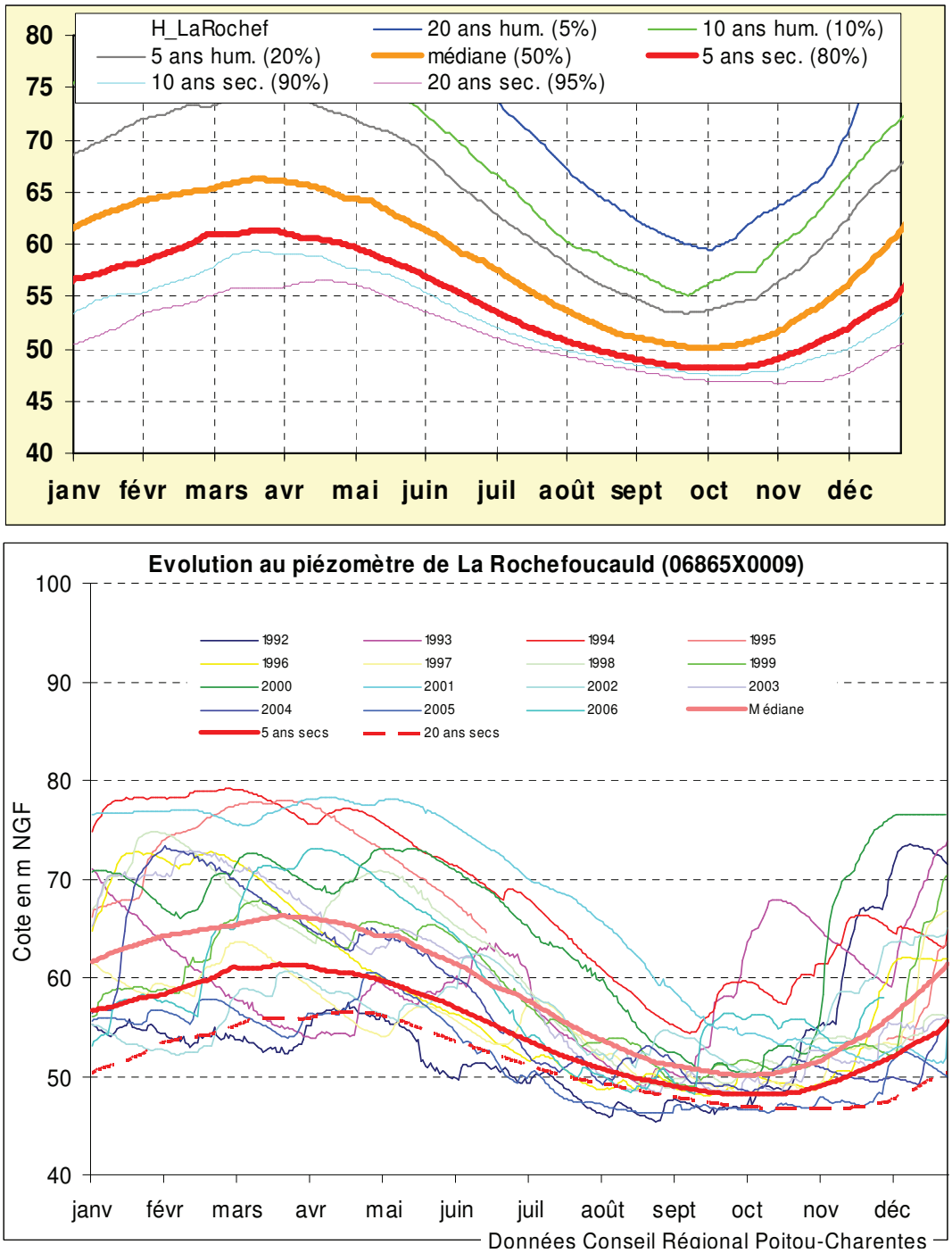


Illustration 74 : Utilisation du modèle du piézomètre de La Rochefoucauld en prévision : en haut courbes non influencé par les pompages avec période de retour, en bas superposition des courbes médiane, 5 et 20 ans secs sur les chroniques annuelles.

Piézomètre de Bouex (07098X0037) Dogger

Situé dans la vallée de l'Echelle, ce piézomètre est en limite méridionale du karst de la Rochefoucauld. Ce piézomètre profond de 288 m traverse une grande partie des formations récifales et bioclastiques du Jurassique moyen au Jurassique supérieur. Avec des arrivées d'eau principalement situées entre 223 et 238 m de profondeur, ce piézomètre capterait principalement des niveaux du Dogger (calcaires bioclastiques).

Outre sa profondeur, ce piézomètre est aussi intéressant de part sa situation géographique à la limite de la partie connue du karst. Au-delà de l'Echelle, vers le Sud et l'Ouest, les formations du jurassique moyen et supérieur restent en effet non reconnues.

En hautes eaux, la modélisation ne souligne pas l'existence d'une cote de débordement. La piézométrie de la nappe reste nettement au-dessous du niveau de la rivière (80 m NGF), avec un différentiel de 10 à 20 m en fonction des années. Le piézomètre est pourtant très proche du cours d'eau.

En basses eaux, la chronique serait contrainte par un seuil bas situé autour de 54-55 m NGF, c'est-à-dire moins de 10 m au-dessus de la cote des sources de la Touvre et de la Lèche (autour de 47 m NGF).

La décomposition de la chronique conduit à deux composantes d'importance comparable : l'une rapide avec un pic au bout de 15 j, l'autre plus lente avec un maximum au bout de 3 à 4 mois et le passage total d'une pluie efficace au bout d'environ 10 mois.

L'utilisation du modèle en prévision donne une cote naturelle d'étiage de 55 m NGF en années sèches (période de retour 5 ans).

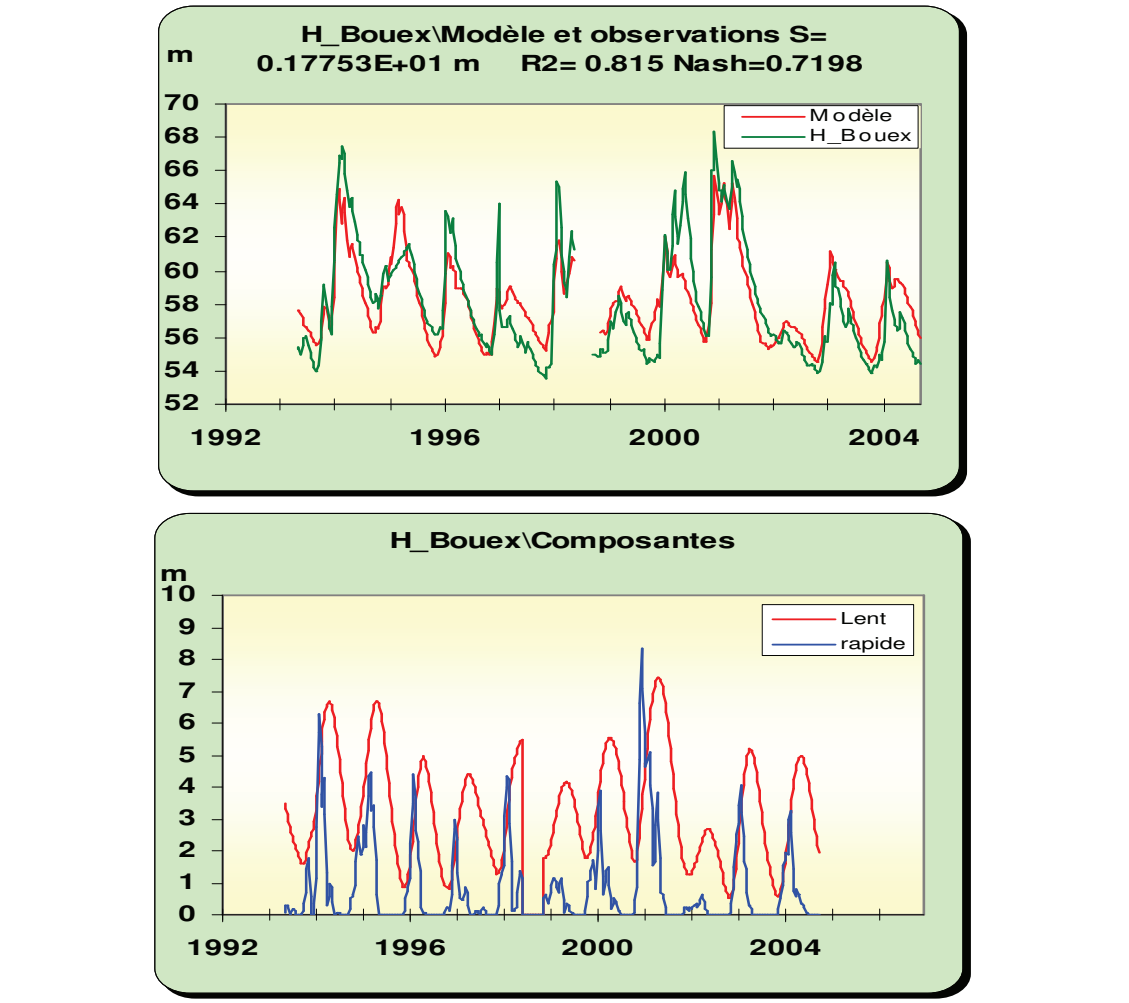
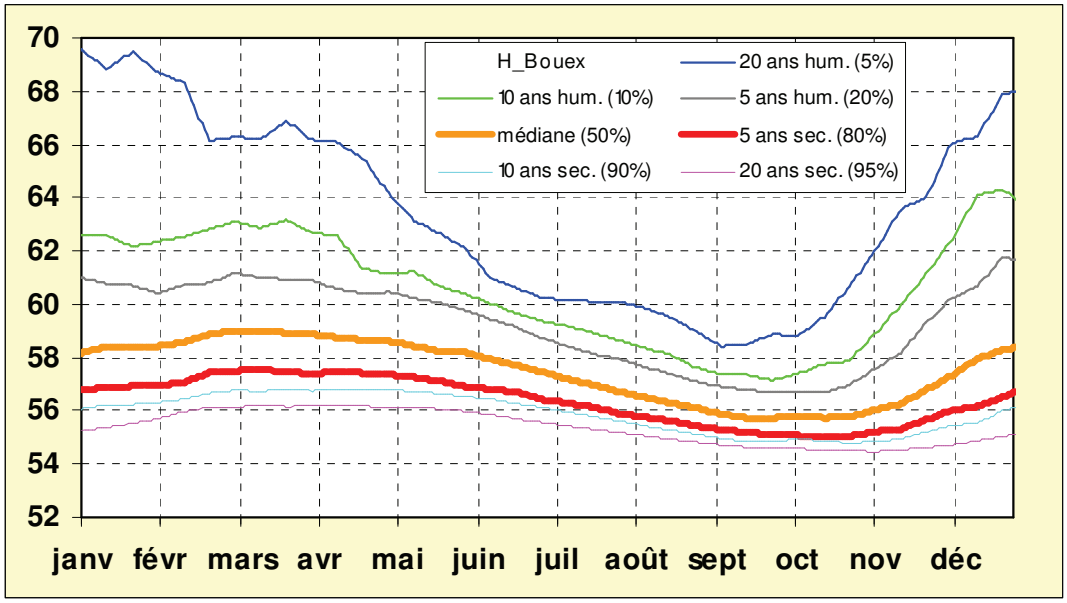


Illustration 75 : Modélisation du piézomètre de Bouex (Dogger), de haut en bas : superposition du modèle sur la chronique, les différentes composantes, analyse impulsionnelle des composantes lente et rapide.



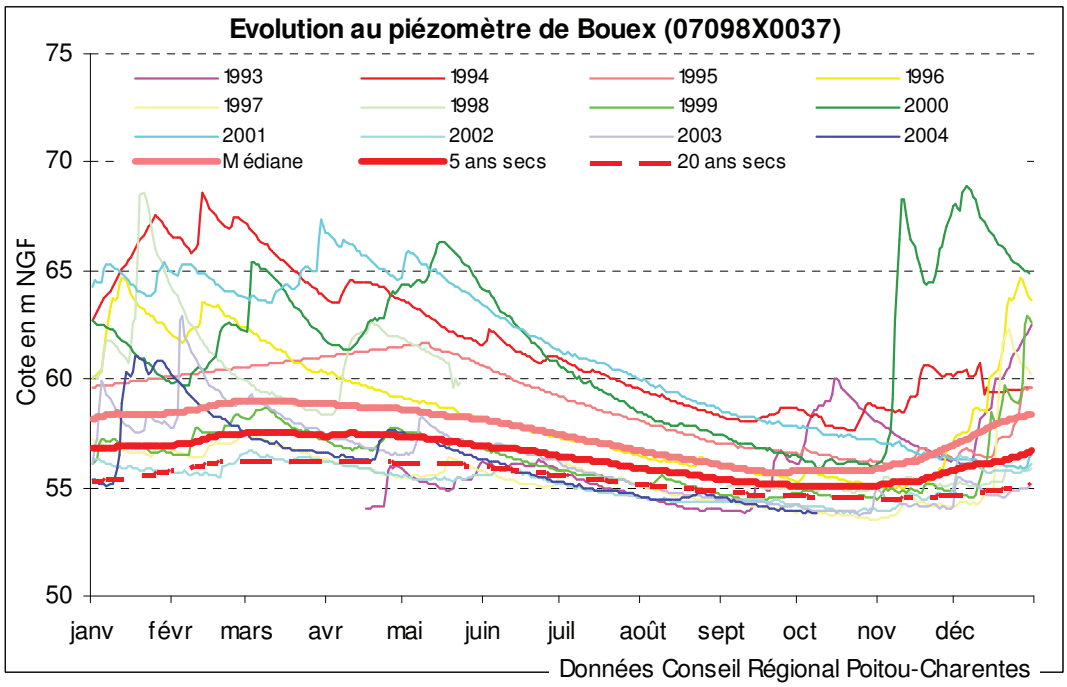


Illustration 76 : Utilisation du modèle du piézomètre de Bouex en prévision : <u>en haut</u> courbes non influencé par les pompages avec période de retour, <u>en bas</u> superposition des courbes médiane, 5 et 20 ans secs sur les chroniques annuelles.

Piézomètre de Mornac (07094X0038) Jurassique supérieur

Ce piézomètre est situé à environ 2 km des sources de la Touvre. Avec 158 m de profondeur, il capte l'aquifère récifal et karstique du Jurassique supérieur.

La modélisation met en évidence un seuil bas, entre 46.5 et 47.5 m NGF qui correspond aux cotes des sources de la Touvre. Ce battement de 1 m de la cote d'étiage semble correspondre à la variation de niveau des sources entre des années sèches et des années humides.

L'amélioration du calage a nécessité l'introduction d'une tendance ce qui explique des courbes un peu basses en prévision (parce que basées sur la persistance d'une tendance à la baisse).

La composante lente est majoritaire avec un pic au bout d'environ 2 mois et un retour à 0 au bout de 8 mois. La composante rapide n'est pas négligeable en hiver.

Ce piézomètre présente l'avantage de donner l'état de la ressource souterraine prés des sources, en particulier de fixer le gradient piézométrique en hautes et basses eaux.

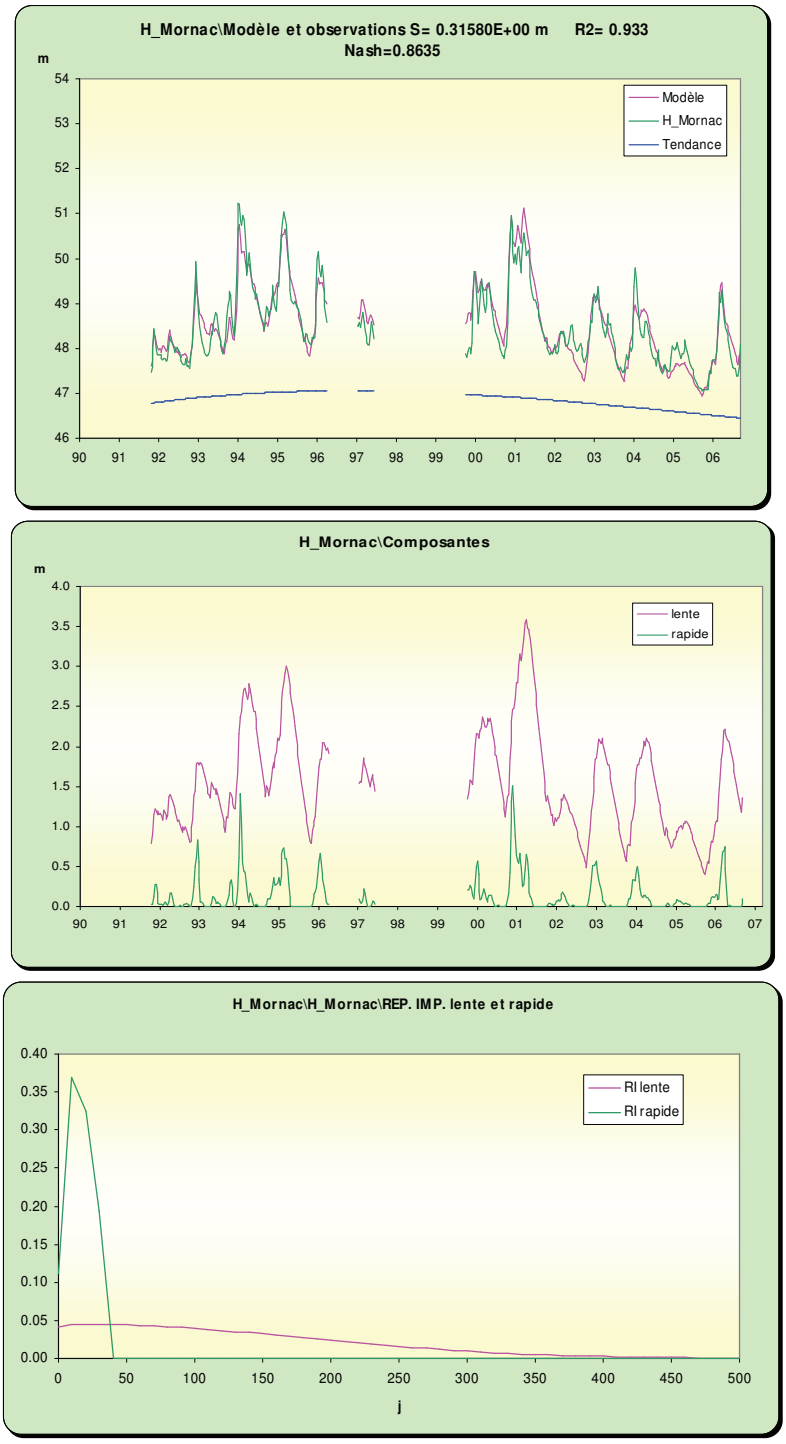


Illustration 77 : Modélisation du piézomètre de Mornac , de haut en bas : superposition du modèle sur la chronique, les différentes composantes, analyse impulsionnelle des composantes lente et rapide.

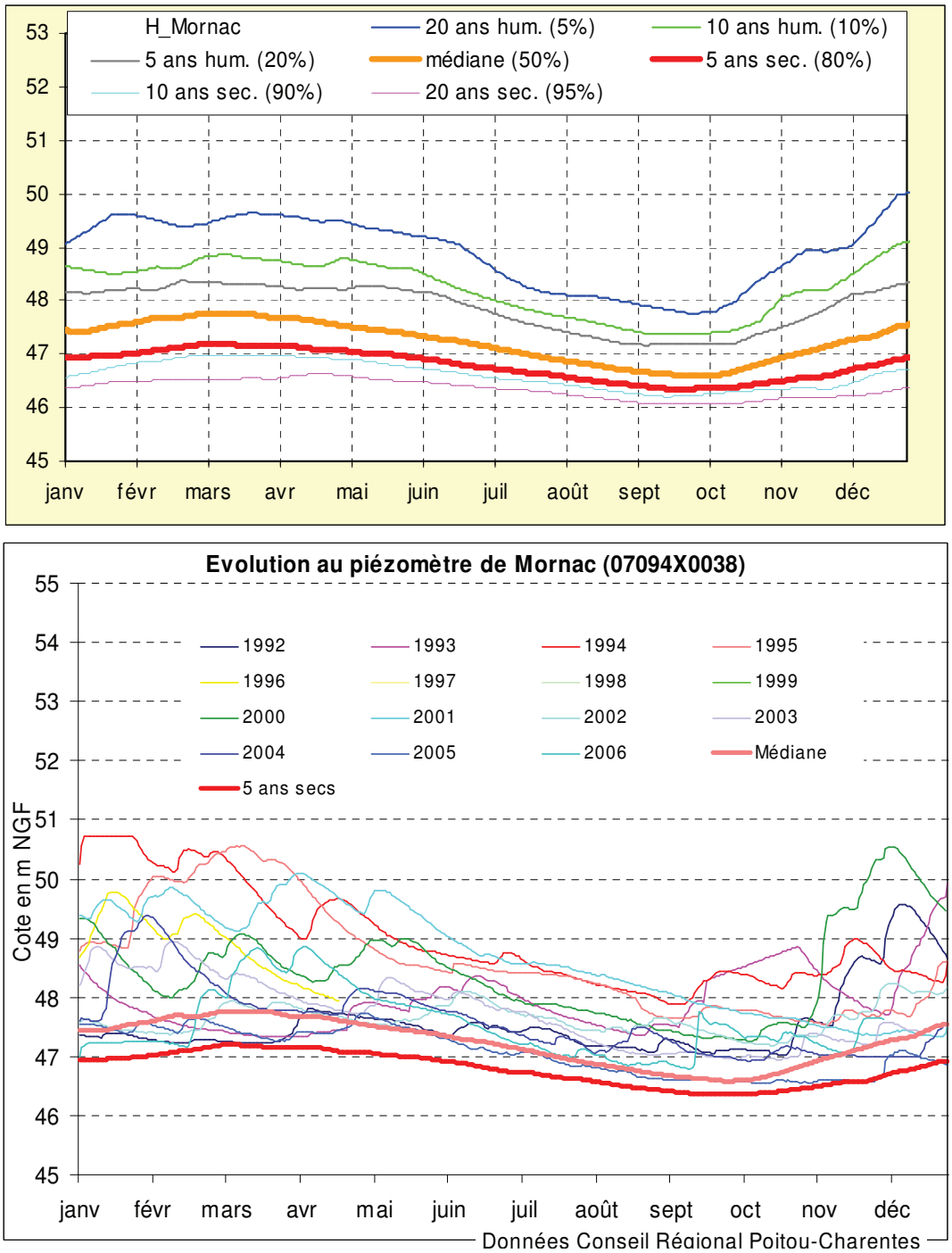


Illustration 78 : Utilisation du modèle du piézomètre de Mornac en prévision : <u>en haut</u> courbes non influencé par les pompages avec période de retour, <u>en bas</u> superposition des courbes médiane, 5 ans secs sur les chroniques annuelles.

Piézomètre d'Agris (06858X0036) Dogger

Situé non loin de la confluence du Bandiat et de la Tardoire, ce forage de 63 m de profondeur capte la nappe du Dogger et de l'Oxfordien karstique (Jurassique supérieur) du karst de la Rochefoucauld.

Ce piézomètre est très impacté par les pompages saisonniers (Illustration 79). La fonction introduite ne permet pas un calage optimal en période de basses eaux. Ces pompages seraient responsables de l'ordre de la moitié du battement annuel. Il est aussi à noter que du fait des pompages la cote de la nappe à l'étiage est assez proche de celle des sources de la Touvre (environ 47 m NGF) exutoire principal du karst de la Rochefoucauld.

En dehors des pompages, la décomposition de la chronique ne donne qu'une composante lente avec un pic entre 1 et 2 mois et le passage complet d'une pluie efficace en plus de 6 mois.

En revanche la mise en charge est quasi-immédiate ce qui suggère des transferts de pression via le réseau de fractures.

Même si le modèle ne fait pas appel à des débordements pour améliorer le calage en hautes eaux, le graphe des chroniques annuelles (Illustration 80) souligne l'existence d'un palier, autour de 71 m NGF, suggérant l'existence de débordement de la nappe dans le réseau superficiel. En effet la cote de la Tardoire est située autour de cette valeur (à environ 600 m du point).

Les courbes théoriques reconstituées par le modèle utilisé en prévision donnent une cote d'étiage naturel 5 ans secs autour de 56 m NGF en septembre.

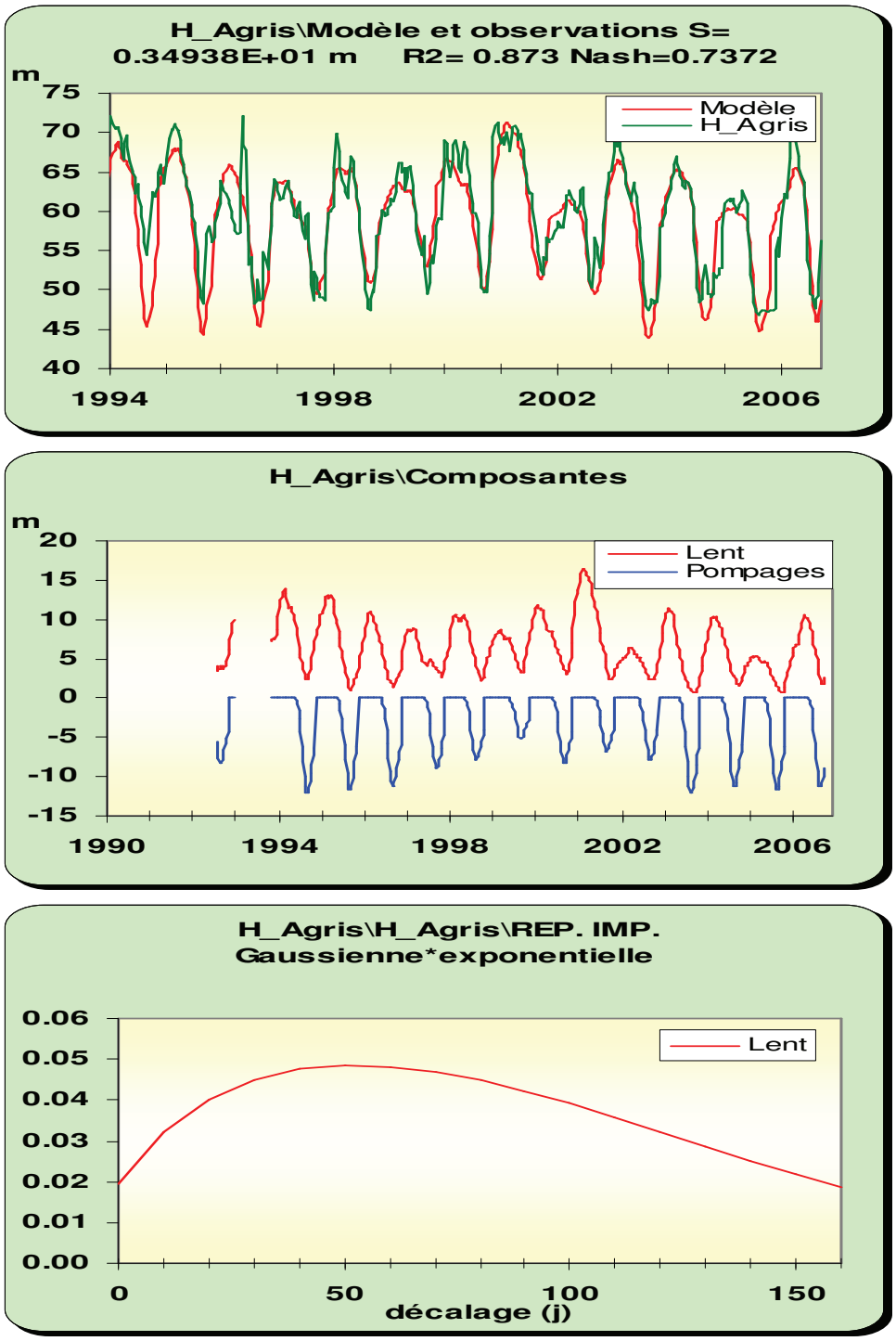
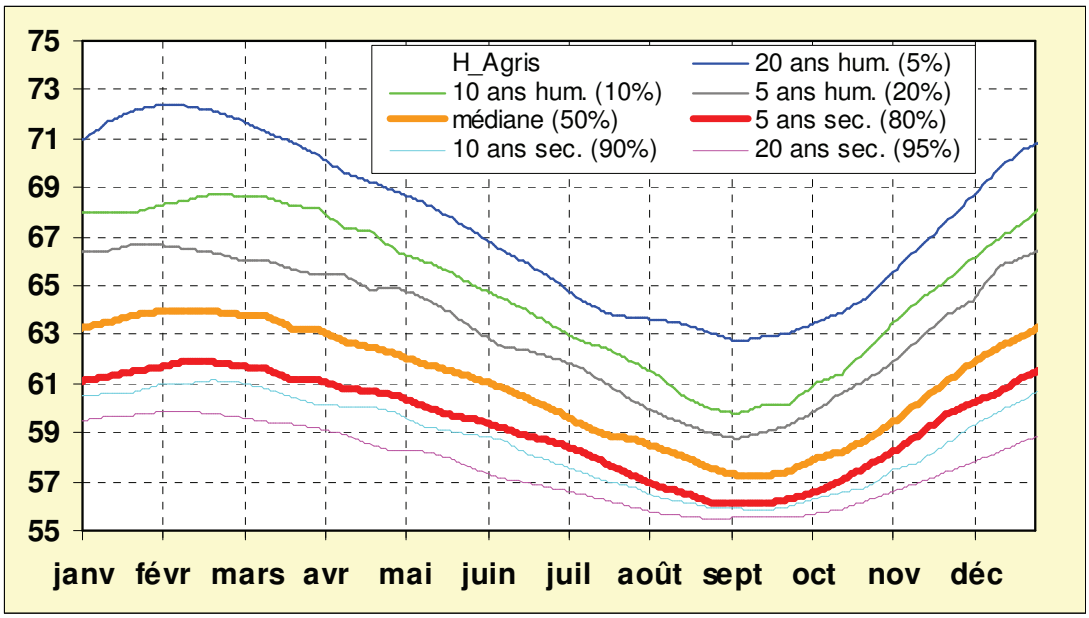


Illustration 79 : Modélisation du piézomètre d'Agris (Dogger), de haut en bas : superposition du modèle sur la chronique, les différentes composantes, analyse impulsionnelle de la composante lente.



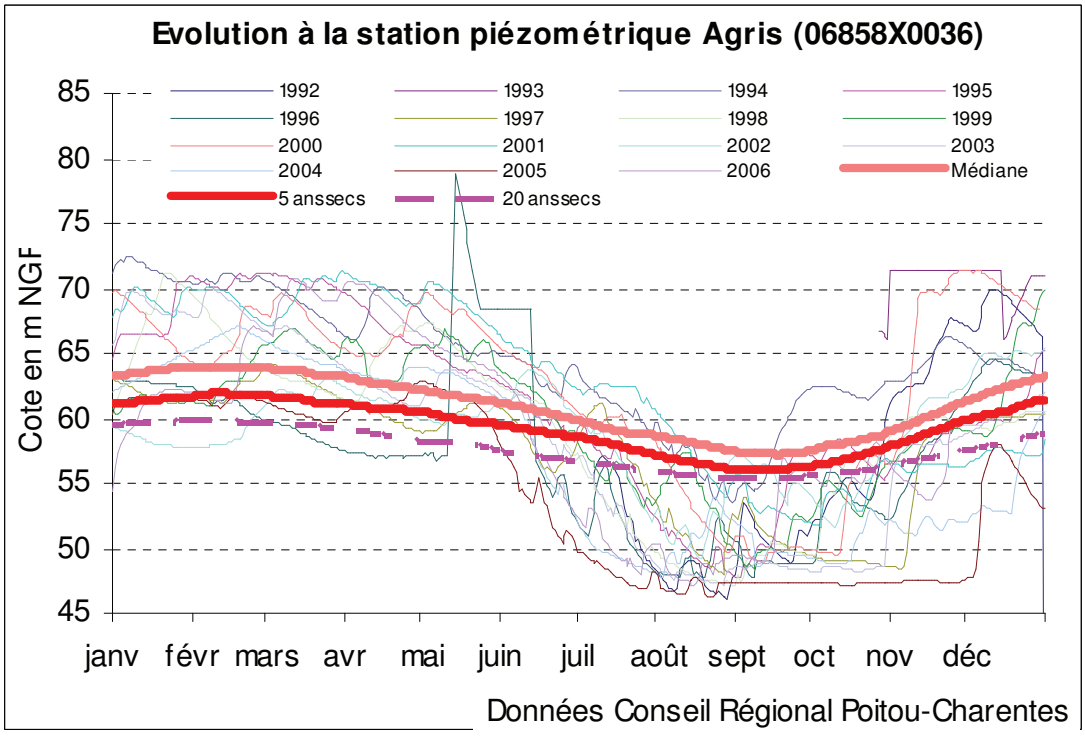


Illustration 80 : Utilisation du modèle du piézomètre d'Agris en prévision : <u>en haut</u> courbes non influencé par les pompages avec période de retour, <u>en bas</u> superposition des courbes médiane, 5 et 20 ans secs sur les chroniques annuelles.

Piézomètre d'Amant (06854X0051) Dogger

Ce piézomètre est situé en limite septentrionale du système karstique de la Rochefoucauld, à peu prés à égale distance du Son-Sonnette et de la Bonnieure, mais dans le bassin versant du premier. Avec 85 m de profondeur, il capte la nappe du Dogger. En surface affleure le Callovien calcaréo-marneux.

Situé relativement haut dans la topographie, ce piézomètre ne présente pas de cote de débordement en hautes eaux. En revanche la modélisation de la chronique souligne l'existence d'un seuil bas, autour de 65 m NGF, qui correspond à peu prés à la cote de la Bonnieure à environ 2 km. Certaines années, vraisemblablement sous l'impact des pompages, la nappe décroche des niveaux des eaux superficielles. Celles-ci ne suffisent plus pour alimenter la nappe et la piézométrie chute au-dessous de ce niveau de base de 65 m NGF.

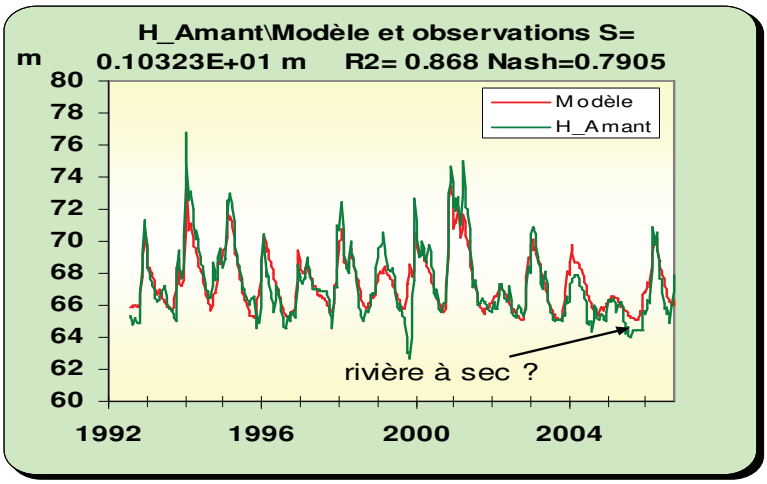
Par rapport aux piézomètres précédents du karst de la Rochefoucauld, dont les niveaux restent en général au-dessous des cotes des cours d'eau superficiels, le niveau du piézomètre de St-Amant est en général au-dessus du réseau hydrographique, sauf certaines années d'étiage sévère, comme expliqué ci-dessus.

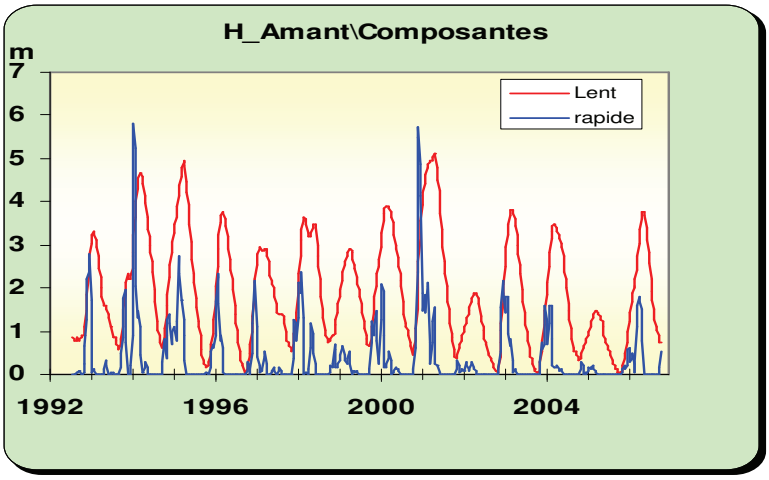
La décomposition de la chronique débouche sur une composante rapide et une lente qui ont à peu prés le même poids. La composante rapide présente un pic au bout d'environ 12 j, la composante lente au bout de 2 mois. Pour cette dernière, le passage d'une pluie efficace se fait totalement au bout d'environ 8 mois.

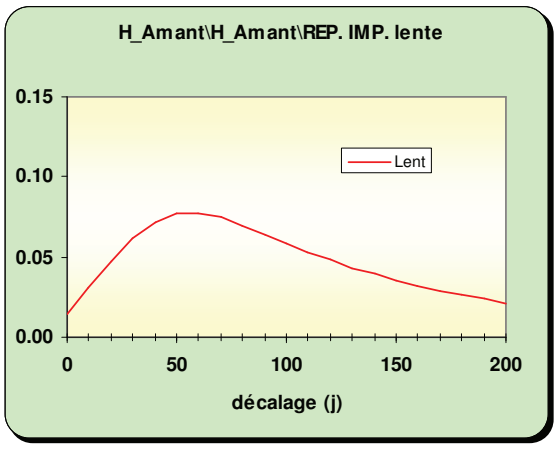
Par ailleurs les prélèvements en nappe n'auraient pas un impact direct important sur la chronique hormis en étiage sévère comme expliqué ci-dessus.

Le modèle utilisé en prévision donne une courbe théorique 5 ans secs avec une cote légèrement supérieure à 65 m NGF atteinte en étiage. Ces courbes prévisionnelles convergent d'ailleurs vers ce seuil de base, quelques soit l'état pluviométrique.

La courbe 2005 est un peu au-dessous de la courbe théorique 20 ans secs.







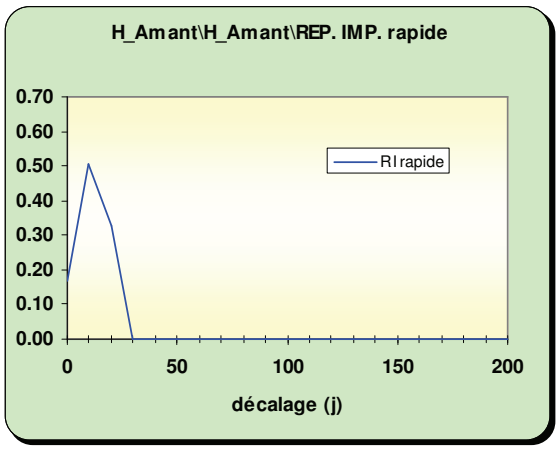
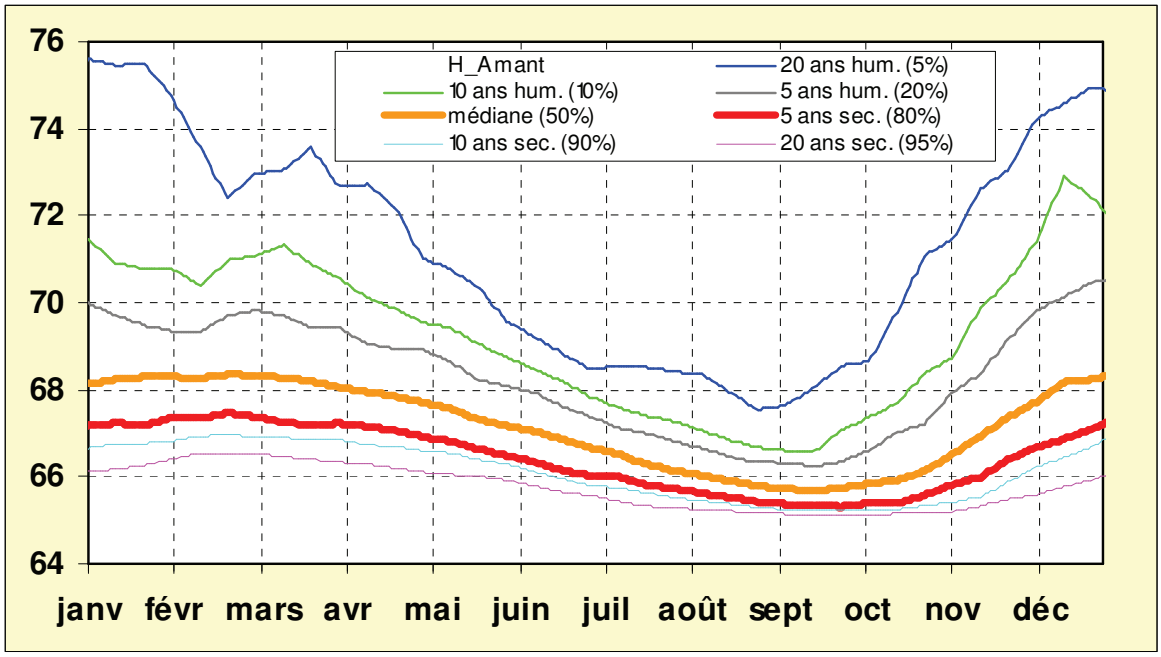


Illustration 81 : Modélisation du piézomètre d'Amant (Dogger), de haut en bas : superposition du modèle sur la chronique, les différentes composantes, analyse impulsionnelle des composantes lente et rapide.



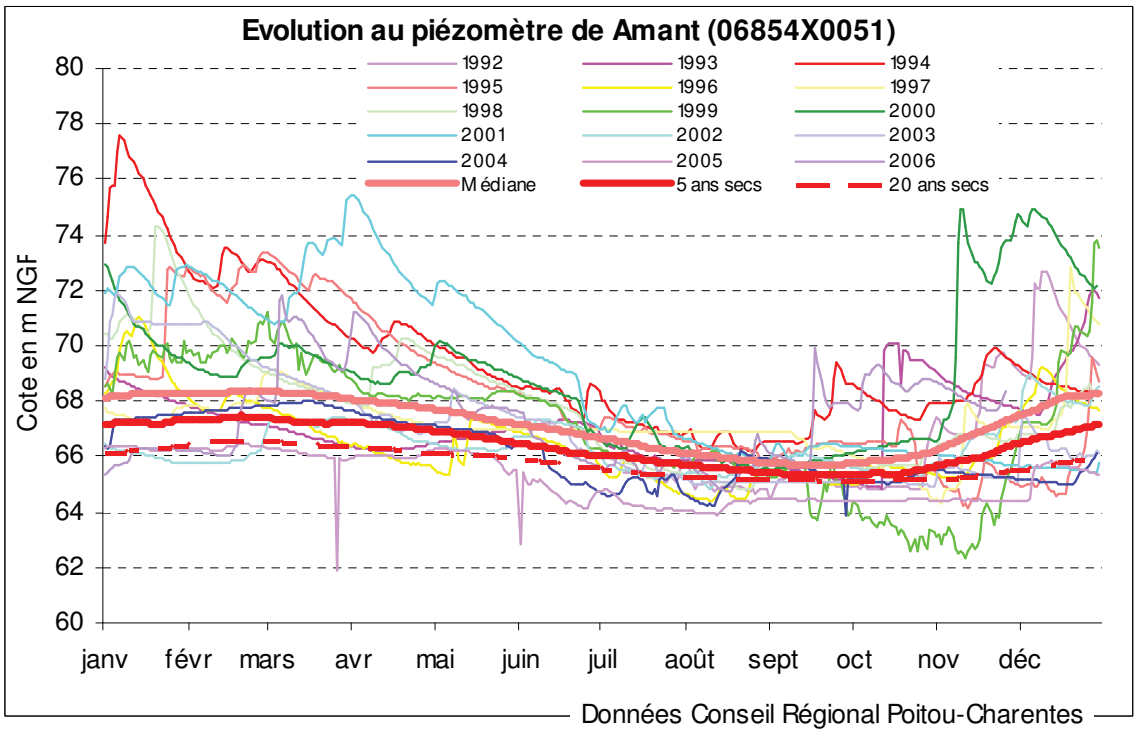


Illustration 82 : Utilisation du modèle du piézomètre d'Amant en prévision : <u>en haut</u> courbes non influencé par les pompages avec période de retour, <u>en bas</u> superposition des courbes médiane, 5 et 20 ans secs sur les chroniques annuelles.

4.1.2. Analyse des chroniques de débit

Stations de Pont-de-Suris

A l'extrémité amont du bassin versant, les retenues de Lavaud (10 Mm^3) et de Mas Chaban (14 Mm^3), installées sur le socle cristallophyllien, permettent depuis respectivement 1989 et 2000 un soutien d'étiage de la Charente. A l'aval de ces retenues, la station de mesure des débits du Pont de Suris est un bon indicateur des apports d'eau à la Charente du socle et des barrages à son entrée dans le bassin sédimentaire.

Sur le socle en effet les ruissellements sont prépondérants, les écoulements souterrains sont superficiels. Les bassins versants présentent un réseau hydrographique dense et uniformément réparti.

La station de Pont de Suris n'est pas un point nodal du SDAGE et aucun objectif de débit complémentaire (DOC) n'est mentionné dans le Plan de Gestion des Etiages de la Charente.

Malgré l'artificialisation des débits, la modélisation de cette station a été entreprise en intégrant une fonction lâchers (de type Peigne) à l'image des fonctions introduites pour représenter les pompages. Cette fonction permet de reproduire convenablement la chronique de Pont-de-Suris (Illustration 83). En effet, comme le montre l'analyse des composantes, les lâchers ont été réellement efficients à partir de 1994 et la mise en service de Mas Chaban est nette à partir de 2000. Par ailleurs, les années sèches se marquent par des volumes lâchés plus faibles. Ces lâchers sont répartis sur 4 mois selon une courbe gaussienne comme le montre l'analyse « impulsionnelle ».

La modélisation souligne aussi une composante rapide nettement prépondérante caractéristique des domaines de socle.

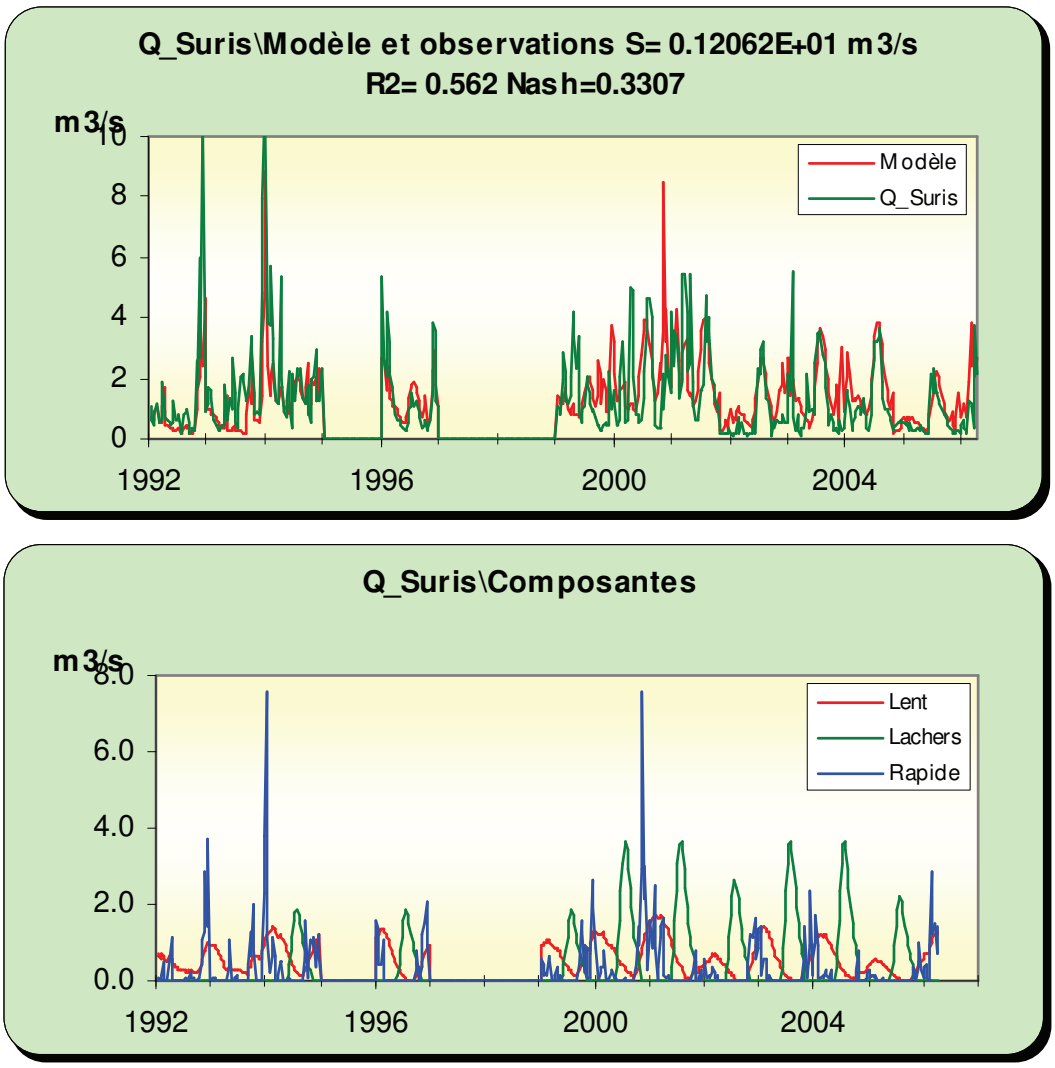


Illustration 83 : Modélisation de la station de Pont-de-Suris de haut en bas : superposition du modèle sur la chronique, les différentes composantes, analyse impulsionnelle des composantes.

Stations de Charroux

Après Suris, la Charente s'écoule vers le Nord-Ouest sur des formations sédimentaires, en particulier sur les terrains de l'Infra-Toarcien (aquifère) et les marnes du Toarcien. Le cours d'eau passe aussi sur plusieurs failles.

La station de Charroux se situe bien à l'aval de la station de Suris, avant que le cours de la Charente change de direction générale.

La comparaison des graphes des stations hydrométriques de Pont-de-Suris et de Charroux (Illustration 84) montre que le débit à Charroux durant l'été correspond à celui de la station amont. Il n'y a pas accroissement significatif de débit alors que la superficie du bassin versant s'accroît nettement. Sans les lâchers amont, les débits sur le tronçon entre Pont-de-Suris et Charroux seraient très faibles pendant l'été. Il faut en conclure à l'existence vraisemblable de pertes vers les nappes (en l'occurrence l'Infra-Toarcien qui affleure là dans le cours d'eau) supérieures en volume aux apports de ces mêmes nappes.

Cette même comparaison montre aussi l'hiver un écrêtement des crues sur Pont-de-Suris lié au remplissage des retenues.

Afin de tenir compte de cet artificialisation des débits à Charroux, la modélisation de la chronique de cette station a été réalisée avec en entrée l'introduction de la fonction lâchers et le piézomètre d'Alloue pour prendre en compte la composante nappe. Avec cette configuration, le calage du modèle (Illustration 85) est satisfaisant, intégrant mieux les phénomènes anthropiques.

L'analyse des composantes, en dehors des différents transferts rapide et lent que l'on ne peut expliquer, montre en été une contribution essentielle des lâchers, la composante nappe étant parallèlement assez faible (Illustration 85).

L'utilisation du modèle en prévision (avec le générateur de pluies) restitue des courbes théoriques lissées (10 j) correspondant à différentes périodes de retour. La courbe 5 ans secs (correspondant au QMNA5) donne un débit d'étiage non influencé (sans les lâchers) de l'ordre de **0.19 m^3/s** (Illustration 86).

On retrouve à Charroux la quasi-totalité des lâchers amont responsables d'un gain de débit pouvant aller jusqu'à plus de 4 m^3/s. Afin de tester la validité du modèle, les différences entre le volume enregistré du 1er juin au 1er octobre chaque année et le même volume calculé à partir de la courbe médiane sont données dans le tableau ci-dessous. Il confirme l'efficacité des lâchers que l'on retrouverait intégralement à la station de Charroux. La mise en service de Mas Chaban se voit aussi très nettement ainsi que l'année 2005 durant laquelle les réservoirs n'ont pas pu être intégralement remplis.

Année	Volume en Mm^3
1997	10.8
1998	4.5
1999	7.9
2000	22.6
2001	22.1
2002	19.5
2003	19.5
2004	19.4
2005	10
2006	15.5

Tableau 1 : Différence entre les volumes mesurés à Charroux du 1er juin au 1er octobre et les volumes théoriques donnés par la courbe médiane.

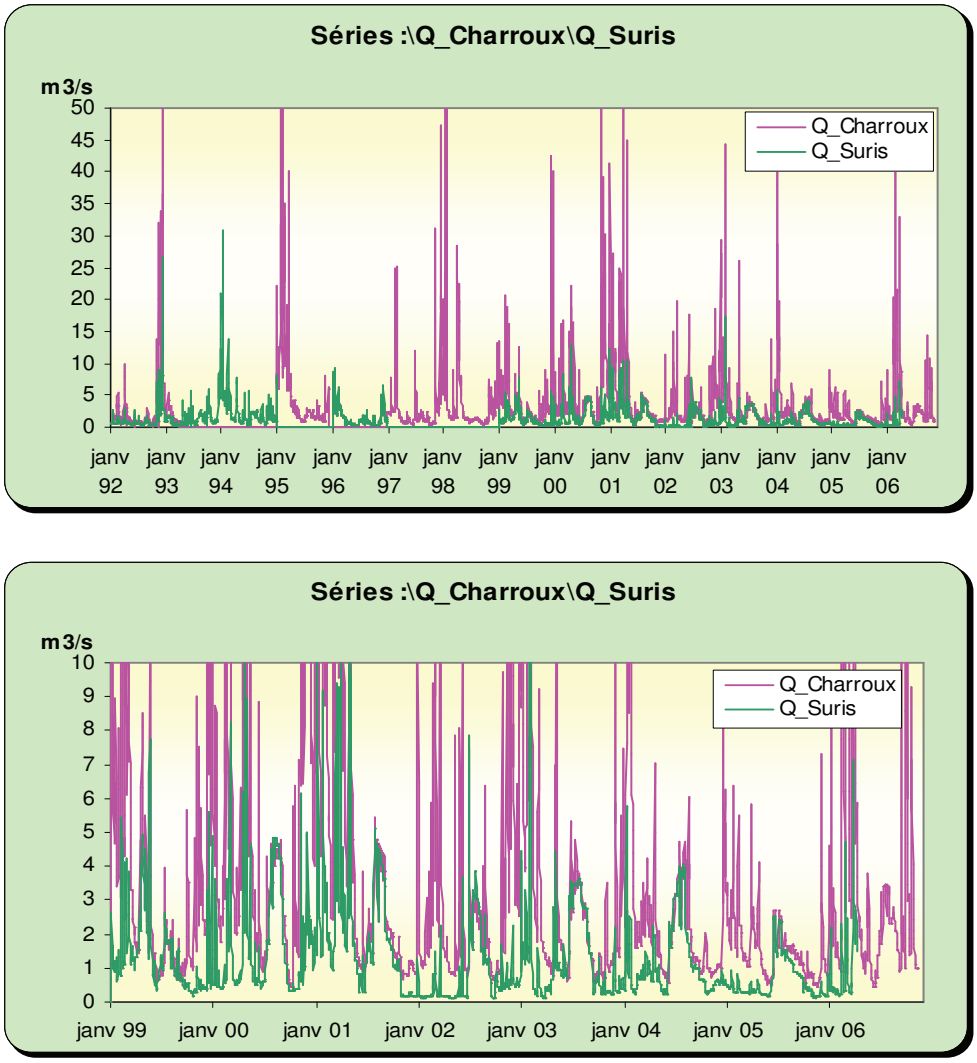


Illustration 84 : Comparaison des graphes de débits de Pont-de-Suris et de Charroux (en bas agrandissement sur les plus faibles débits).

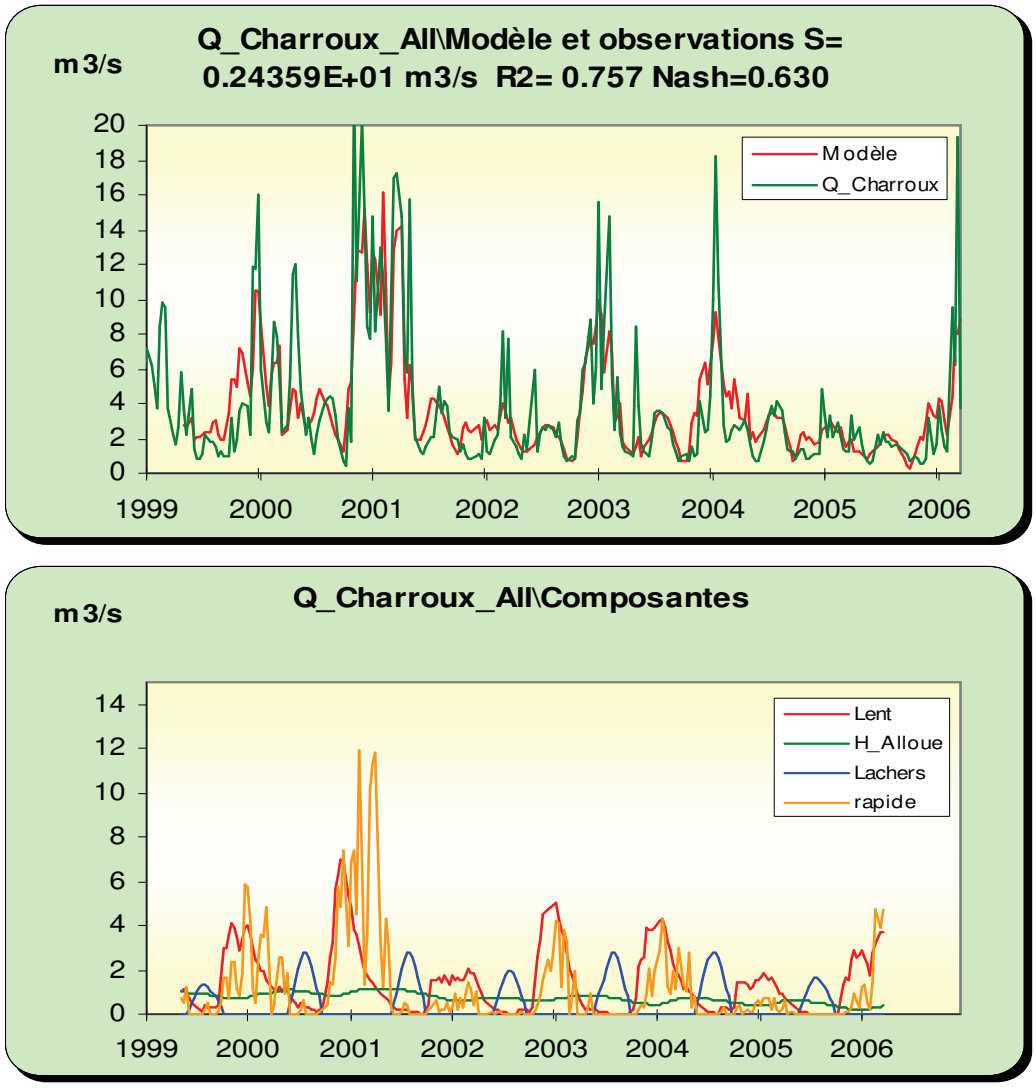
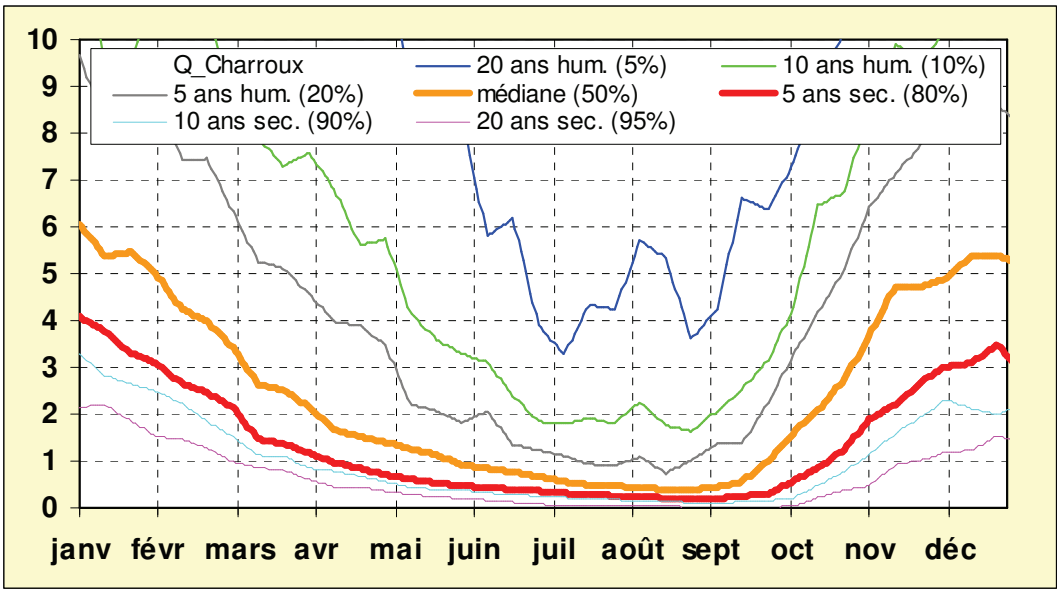


Illustration 85 : Modélisation de la station de Charroux avec en entrée le piézomètre d'Alloue et les lâchers, de haut en bas : superposition du modèle sur la chronique, les différentes composantes, l'analyse des composantes.



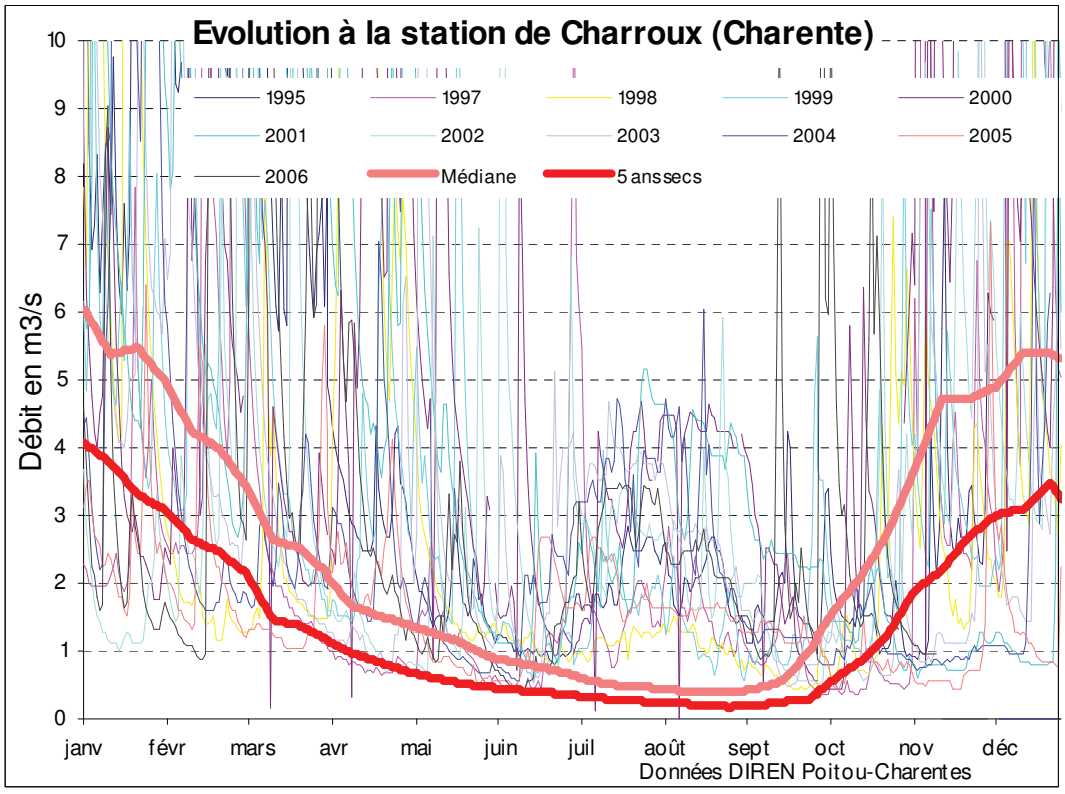


Illustration 86 : Utilisation du modèle de la station de Charroux en prévision : <u>en haut</u> courbes théoriques avec période de retour, <u>en bas</u> superposition des courbes médiane et 5 ans secs sur les chroniques annuelles.

Station de St-Saviol

La station de St-Saviol est située à l'aval de celle de Charroux, après la boucle de la Charente, à l'endroit où celle-ci reprend une direction d'écoulement vers le Sud. Entre Charroux et St-Saviol, la Charente traverse le massif calcaire (karstique) du Dogger avec des apports de cette nappe via de nombreuses sources.

Les apports de la nappe du Dogger se marquent nettement l'été lorsque que l'on compare les historiques des deux stations de mesures (Illustration 87). Il est à noter que ces apports ont été limités en 2005, caractérisée par l'absence de recharge hivernale des nappes ; les débits amont sur Charroux et aval sur St-Saviol étaient cette année là assez proches.

Malgré une variation rapide des débits mesurés, le modèle représente relativement correctement la chronique. Il découle du modèle (Illustration 88) :

- le débit à St-Saviol vient pour une part importante des apports latéraux de la nappe du Dogger (représentée par le piézomètre de Limalonges),

- les deux autres composantes (rapide et lente) correspondent aux ruissellements dans le bassin et aux transferts que l'on ne peut expliquer à travers cette modélisation,

- l'analyse impulsionnelle montre un impact maximum sur le débit au bout d'environ 20 jours des apports des nappes après une impulsion pluie, et un impact des autres composantes maximum dans les 10 j suivants une pluie et complètement effacé au bout d'un mois,

- les lâchers ont un impact significatif sur les débits d'étiage, avec des apports supplémentaires qui peuvent atteindre au maximum 4 m^3/s.

Utilisé en prévision, le modèle donne un débit d'étiage (sept-oct) 5 ans secs autour de **1.2 m^3/s** (Illustration 89). La comparaison avec le débit « naturel » 5 ans secs de Charroux (0.19 m^3/s) souligne l'importance des apports latéraux du karst estimés à environ 1m^3/s à l'étiage.

Cette station fait l'objet d'une proposition de Débit d'Objectif Complémentaire (DOC) de 0.85 m^3/s dans le PGE. Ce débit est bien au-dessous du débit « naturel » calculé à partir de la modélisation même si ce dernier doit être considéré lissé sur une décade.

Comme pour la station de Charroux, les différences entre les débits mesurés sur St-Saviol et la courbe théorique médiane « naturelle » ont été calculées pour les années bénéficiant d'un historique et pour la période du 1er juin au 1er octobre (Tableau 2). Les résultats sont beaucoup moins clairs que pour la station de Charroux du fait que ces bilans sont fonction non seulement des lâchers, mais aussi de la pluviométrie, de l'importance des prélèvements et des apports de la nappe du Dogger.

Ainsi on peut constater dans le tableau des années en négatif, 1996 et 1999 pour lesquelles les historiques piézométriques montrent des pompages importants, des

années en positif, de 2000 à 2002 marquées par la mise en service du stockage de Mas Chaban et une pluviométrie relativement importante. L'année 2005 se singularise aussi par des lâchers faibles et de forts déficits en pluie.

Année	**Volume en Mm^3**
1993	22.8
1994	13.3
1996	-7.3
1999	-2.1
2000	28.3
2001	26.4
2002	33
2005	-1.6
2006	21.4

Tableau 2 : Différence entre les volumes mesurés à St-Saviol du 1er juin au 1er octobre et les volumes théoriques donnés par la courbe médiane.

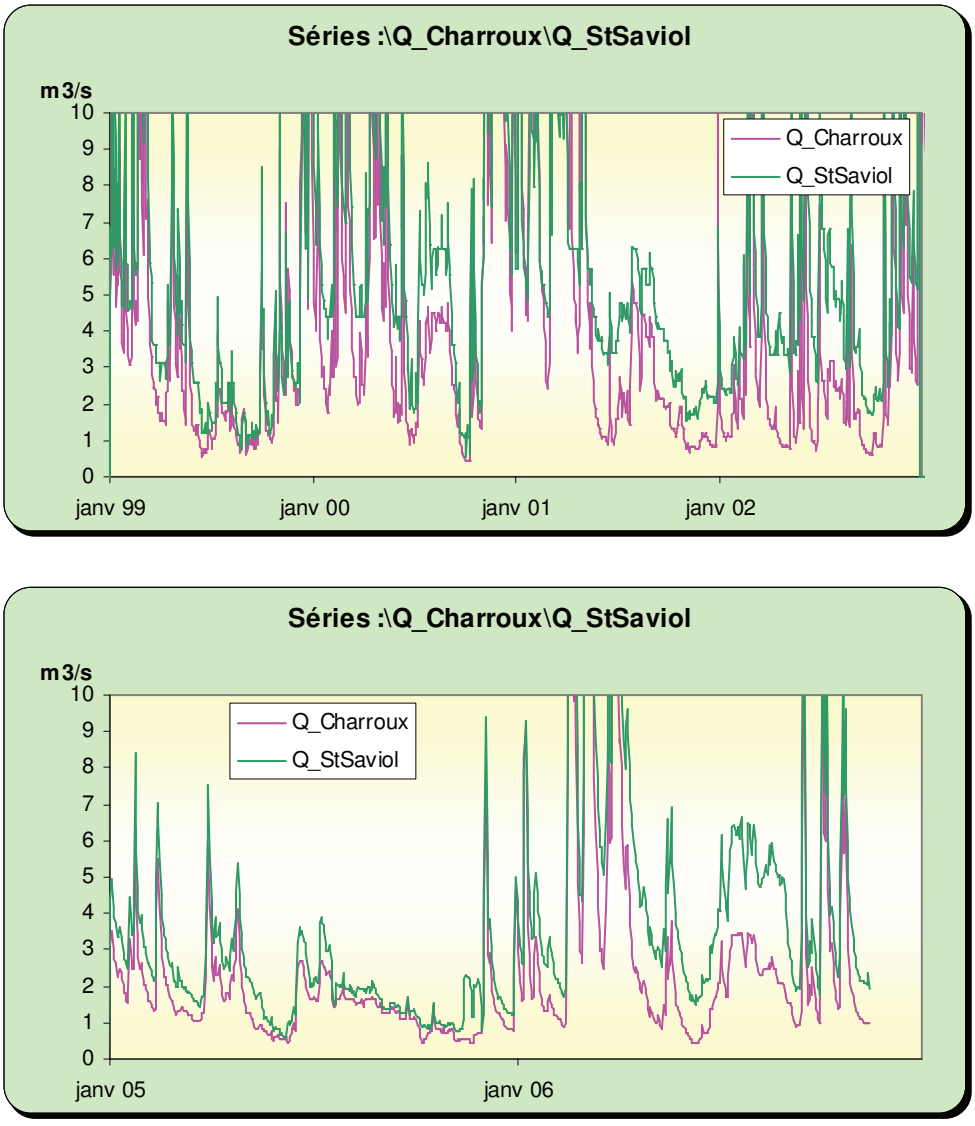


Illustration 87 : Comparaison entre les débits à St-Saviol et les débits à Charroux, agrandissement sur les faibles débits : périodes 1999-2003 en haut, 2005-2007 en bas.

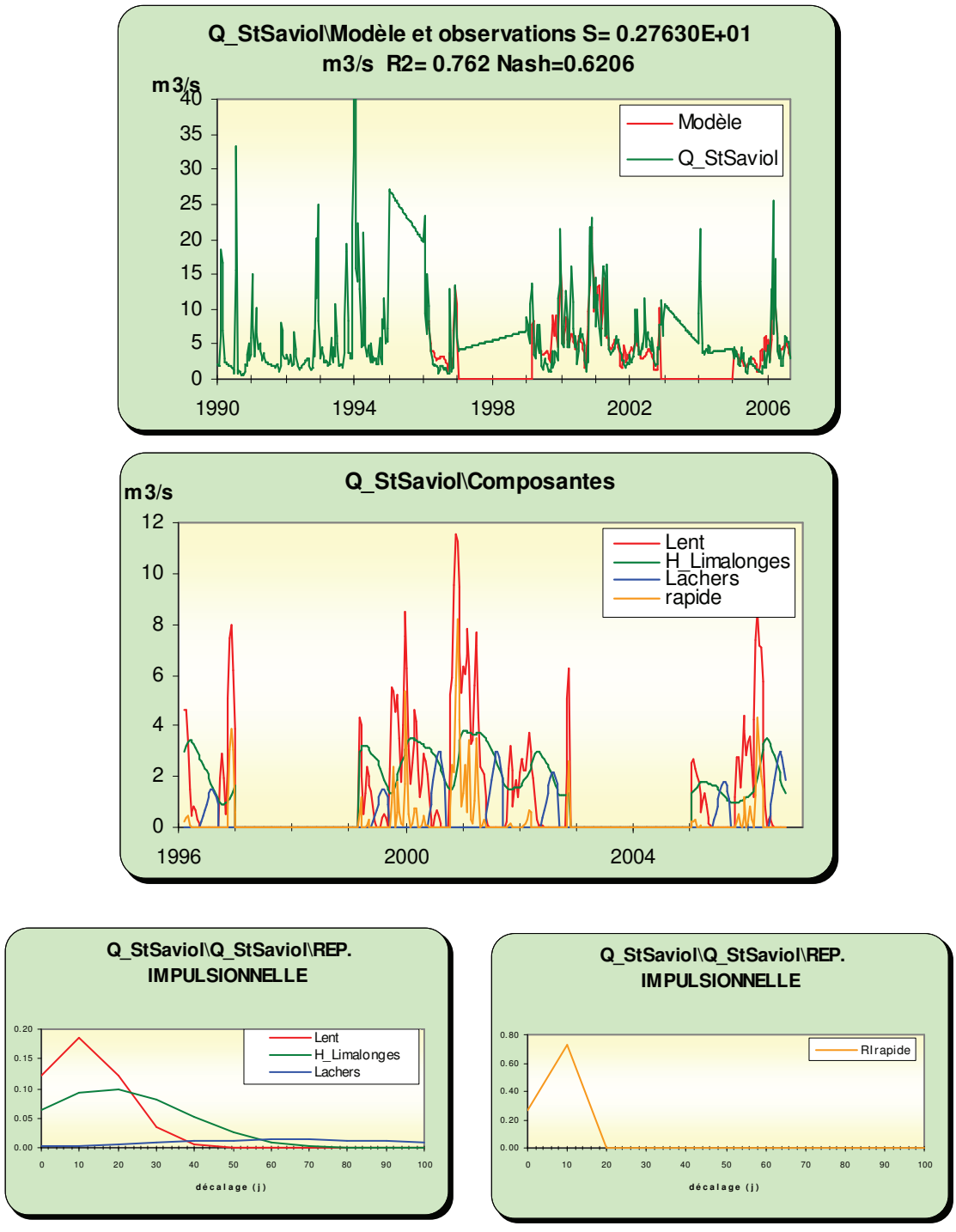
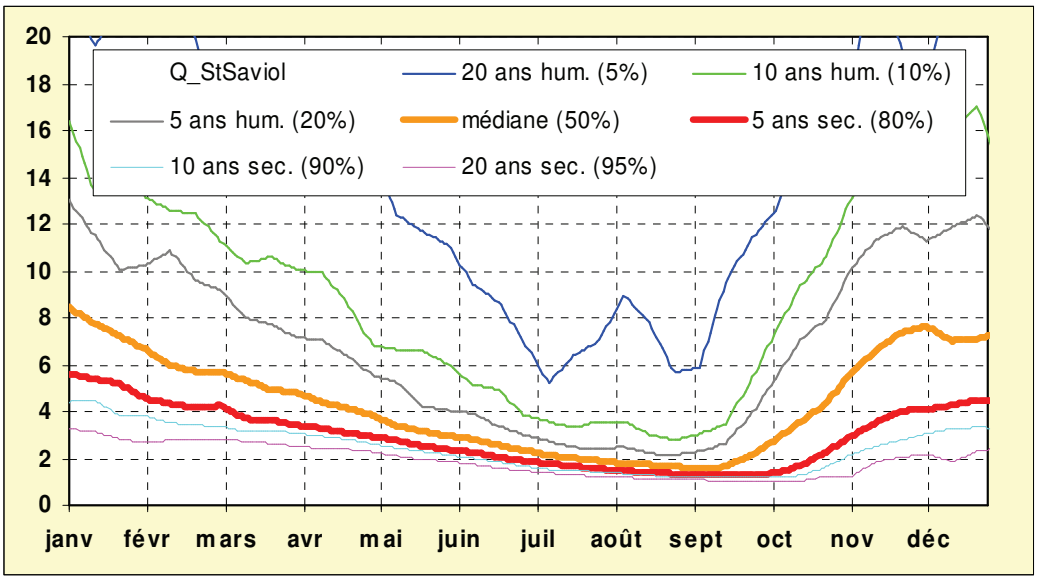


Illustration 88 : Modélisation de la station de St-Saviol de haut en bas : superposition du modèle sur la chronique, les différentes composantes, analyse impulsionnelle des composantes



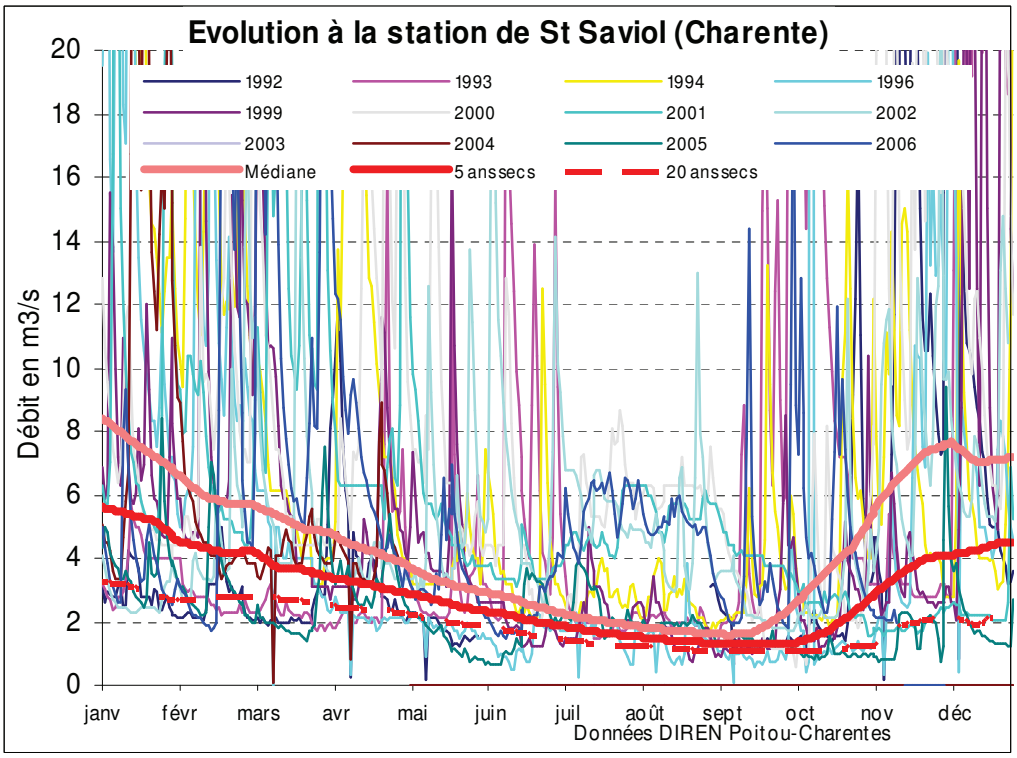


Illustration 89 : Utilisation du modèle de la station de St-Saviol en prévision : <u>en haut</u> courbes théoriques avec période de retour, <u>en bas</u> superposition des courbes médiane, 5 et 20 ans secs sur les chroniques annuelles.

Station d'Aunac

La station d'Aunac est située sur la Charente à la sortie du massif karstique des calcaires du Dogger. La Charente circule ensuite sur les calcaires marneux des séries du Jurassique supérieur.

Malgré des mesures très discontinues, la modélisation de la chronique a été entrepris et donne des résultats très corrects (R2=0.89) pour les parties de courbe modélisées. Ce modèle reste toutefois à considérer avec prudence.

En basses eaux la contribution de la nappe du Dogger (représentée dans le modèle par le piézomètre de Ruffec) est nettement prédominante. Après une pluie, cette participation du Dogger aurait un impact maximal sur le débit de la rivière au bout d'environ 10 jours. La comparaison des analyses impulsionnelles des différentes composantes souligne l'effet retard (bien que modéré) de la nappe par rapport aux ruissellements directes dans le bassin versant.

L'efficacité des lâchers est moins nette que pour les stations précédentes. Ces lâchers s'atténuent et leur impact maximum ces dernières années peut être estimé entre 2 et 3 m^3/s.

En prévision, la courbe 5 ans secs donne un débit d'étiage autour de **3.5 m^3/s**. La superposition de la chronique et des courbes théoriques souligne l'influence beaucoup moins nette de la réalimentation artificielle de la Charente ainsi que l'impact des pompages (Illustration 91).

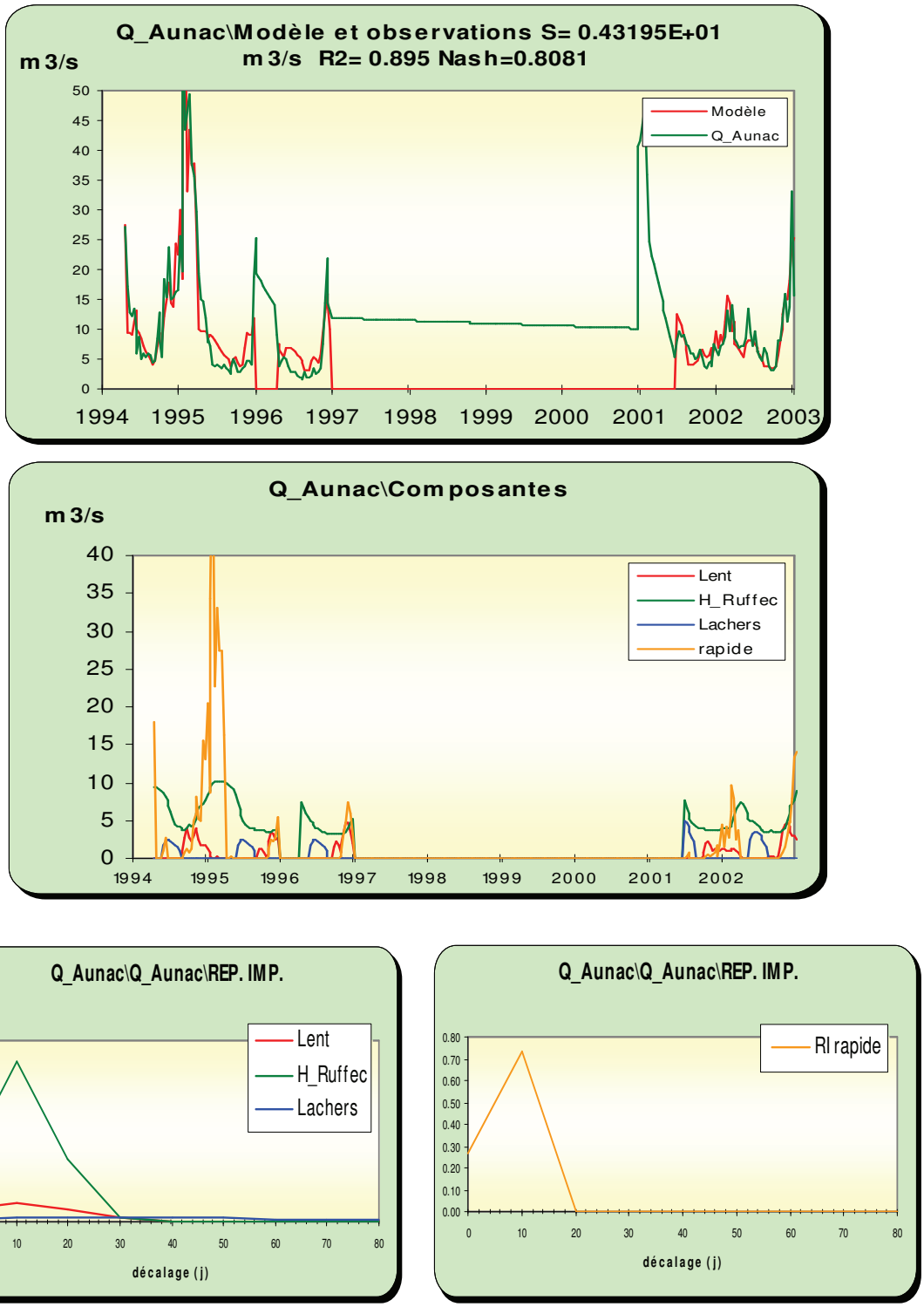
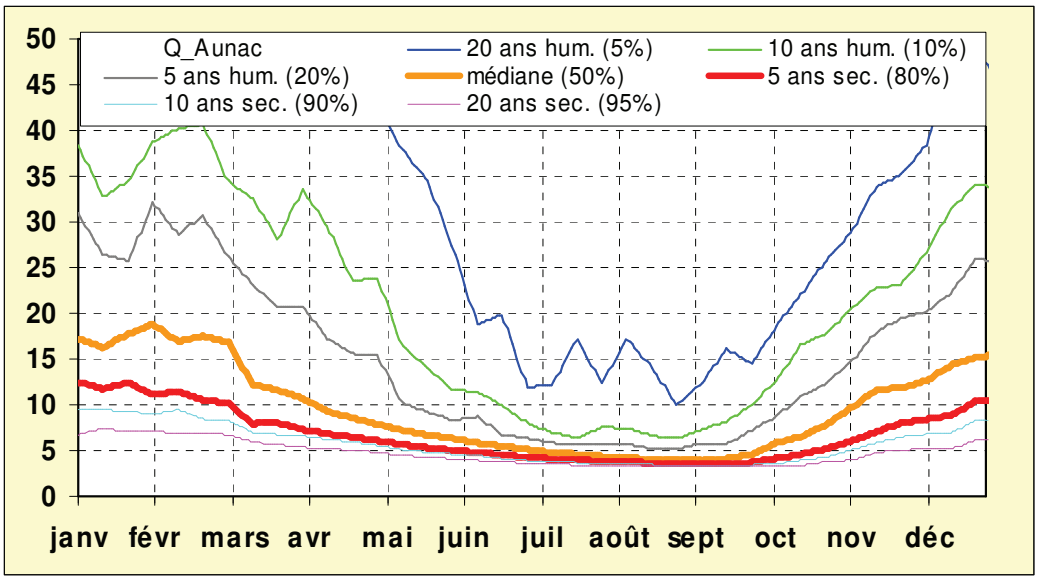


Illustration 90 : Modélisation de la station d'Aunac de haut en bas : superposition du modèle sur la chronique, les différentes composantes, analyse impulsionnelle des composantes.



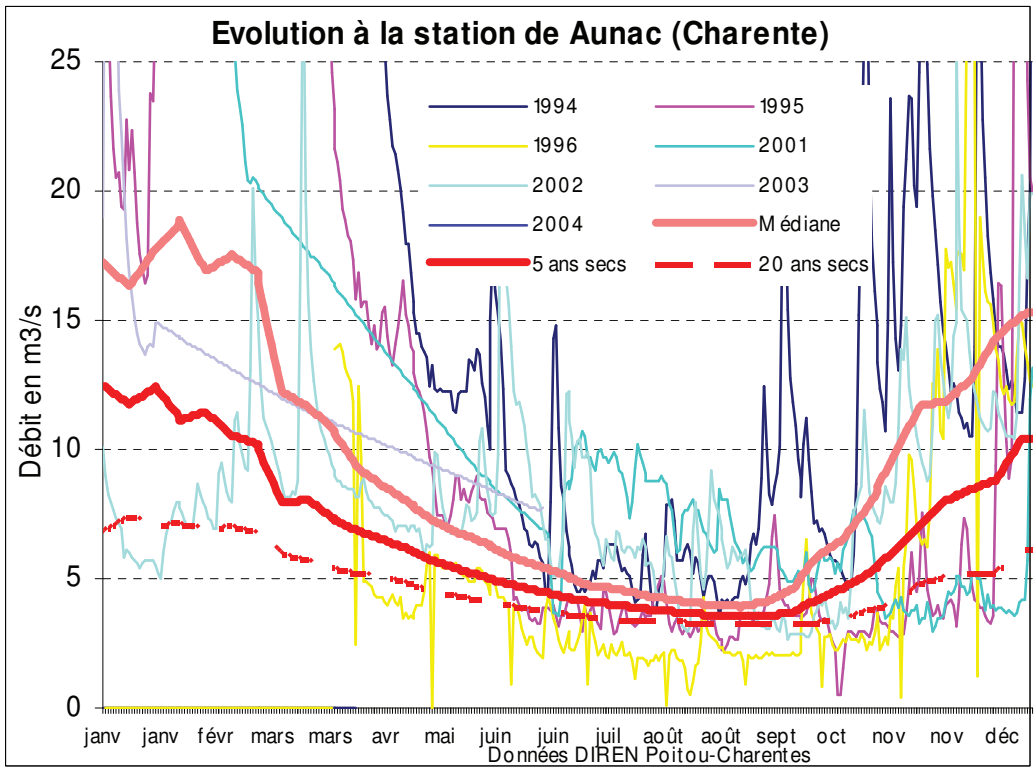


Illustration 91 : Utilisation du modèle de la station d'Aunac en prévision : <u>en haut</u> courbes théoriques avec période de retour, <u>en bas</u> superposition des courbes médiane, 5 et 20 ans secs sur les chroniques annuelles (agrandissement sur périodes d'étiage).

Station de Luxé

Située sur la Charente à la confluence avec Le Bief, en domaine de Jurassique supérieur, la station de Luxé mesure surtout, par rapport à la station plus amont d'Aunac, les apports des bassins versants du Son-Sonnette et de la Tardoire-Bonnieure. Toutefois pour la Tardoire et partiellement pour la Bonnieure, les apports se font principalement en hautes eaux du fait des pertes dans le karst de La Rochefoucauld.

La comparaison des débits à St-Saviol avec ceux de Luxé montre des écarts très importants principalement en période de hautes eaux (Illustration 92).

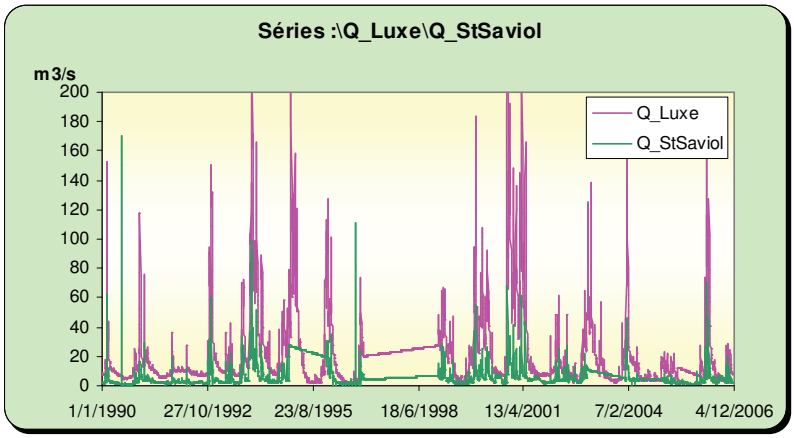


Illustration 92 : Comparaison des débits aux stations de St-Saviol et de luxé.

Pour la modélisation de Luxé, plusieurs hypothèses ont été testées. Le meilleur résultat a été obtenu en considérant en entrée le piézomètre de Bellicou, pour les apports de la nappe du Dogger, les stations de Coulgens et de Villlebette pour les apports de la Tardoire et de la Bonnieure.

Une fonction lâchers a aussi été considérée en entrée bien que l'impact des soutiens artificiels d'étiage apparait sur la chronique de Luxé moins évident que pour les stations plus amont. L'impact des lâchers est masqué par d'importants prélèvements.

La décomposition du graphe montre une composante rapide dominante. Parmi les autres composantes, c'est le piézomètre de Bellicou qui ressort le plus par rapport aux stations de Coulgens et de Villebette. Les apports de l'aquifère du Dogger forment une grande partie du débit l'été.

Utilisé en prévision le modèle donne un débit d'étiage 5 ans secs autour de **4.1 m^3/s**, ce qui est très élevé par rapport au DOC (Débit d'Objectif Complémentaire) donné dans le PGE de la Charente (2.7 m^3/s). L'Illustration souligne aussi un décalage important en été entre les valeurs mesurées (de mai à octobre) et les valeurs calculées par modélisation. Il convient de rappeler que les courbes théoriques n'intègrent ni les prélèvements saisonniers ni les lâchers amont, du moins dans leur totalité.

Lorsque l'on regarde les historiques disponibles, le débit d'étiage mesuré à Luxé a été particulièrement bas (autour de 2 m^3/s) les années 1995, 96 et 99 (mais les stockages de Mas Chaban n'existaient pas encore), 2002, entre 2 et 3 m^3/s en 2003, autour de 3 m^3/s en 2004 et 2005 (année particulièrement déficitaire en pluie mais où les prélèvements et les lâchers ont été faibles), autour de 4 m^3/s en 2006 et au-dessus de 5-6 m^3/s en 2000 et 2001.

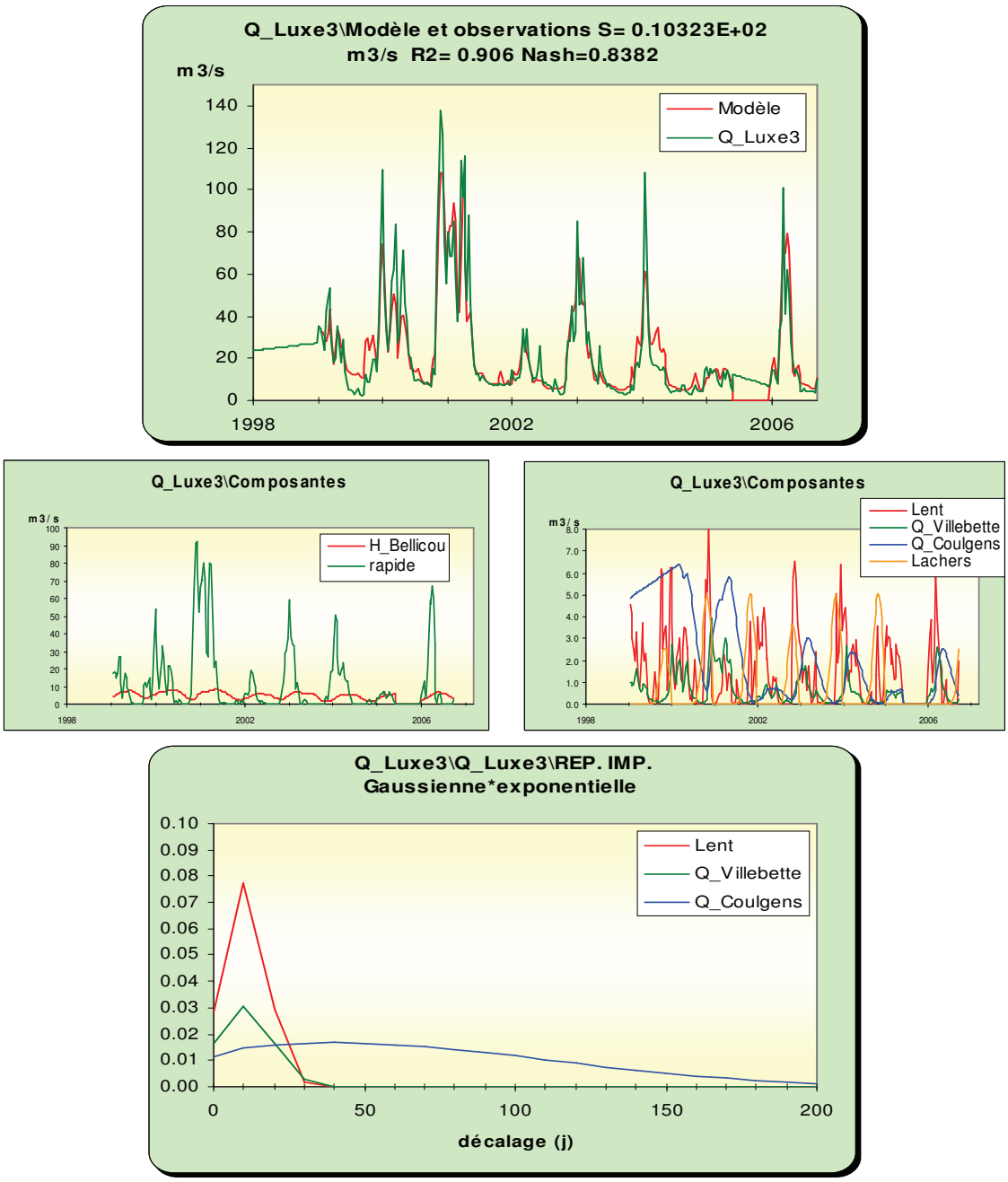
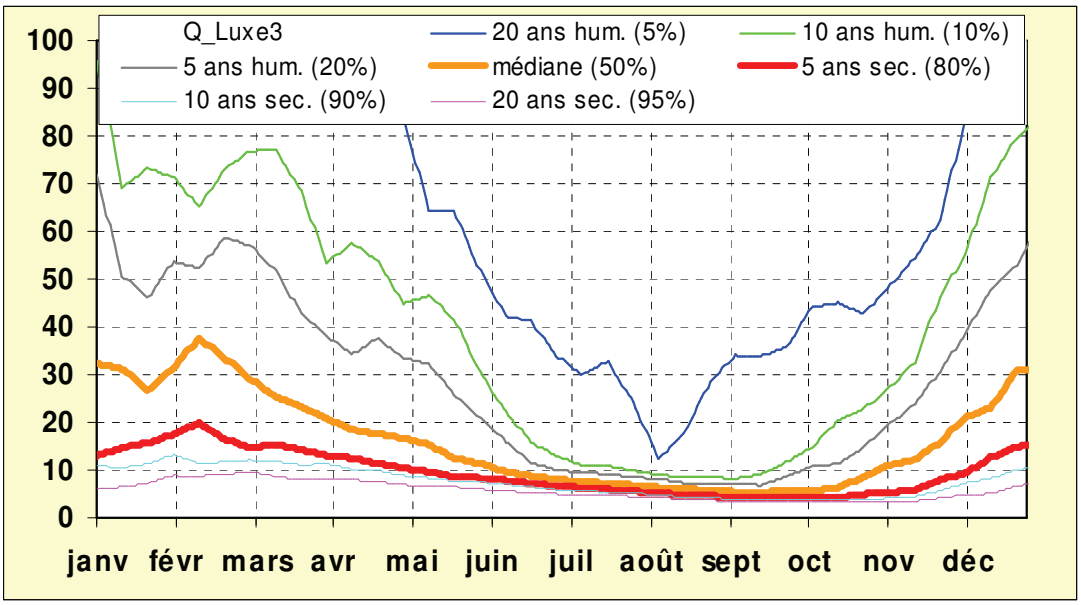


Illustration 93 : Modélisation de la station de Luxé de haut en bas : superposition du modèle sur la chronique, les différentes composantes, analyse impulsionnelle des composantes.



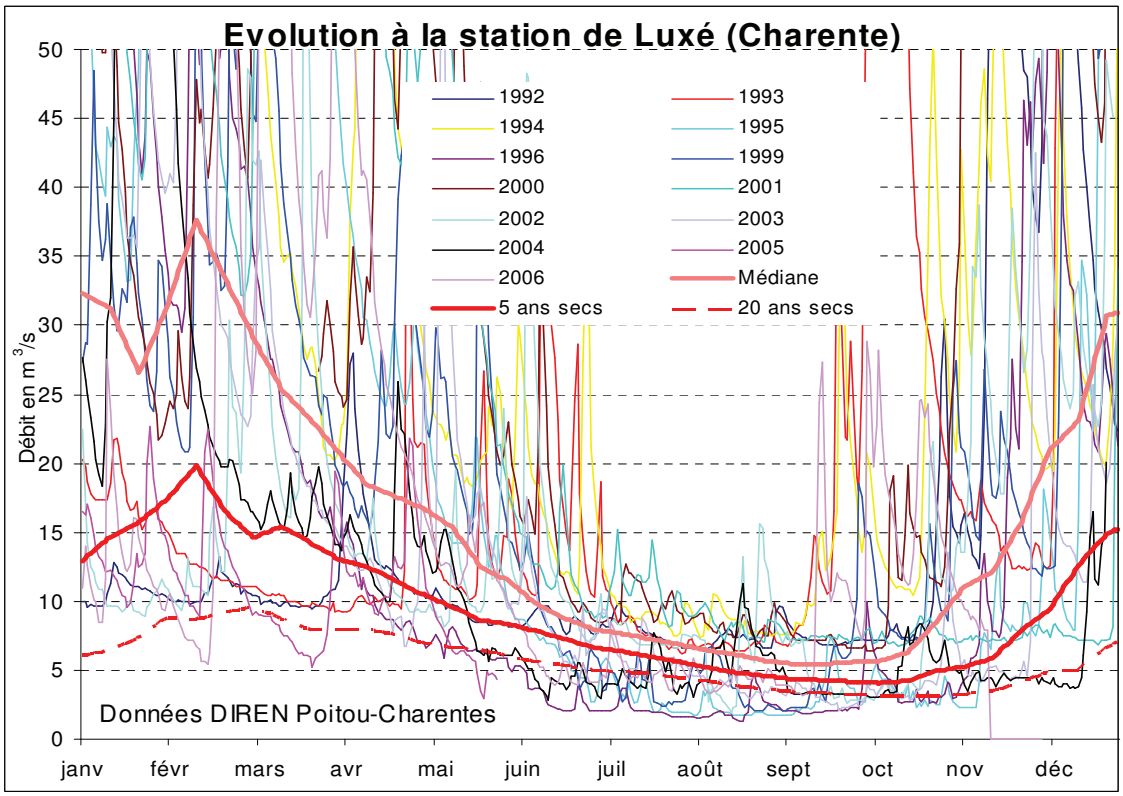


Illustration 94 : Utilisation du modèle de la station de Luxé en prévision : en haut courbes théoriques avec période de retour, en bas superposition des courbes médiane, 5 et 20 ans secs sur les chroniques annuelles.

Station de Vindelle

Par rapport à la station de Luxé, la station de Vindelle intègre les débits de l'Aume-Couture et de l'Auge, mais pas ceux de l'Argence et surtout de la Touvre. La comparaison des débits de Luxé, Vindelle et Foulpougne (Touvre) (extrait du rapport BRGM 53767FR) montre entre-autre que le débit de Vindelle est la plupart du temps inférieur au débit à Luxé du mois de mai jusqu'au mois d'octobre, ce qui souligne l'impact des prélèvements.

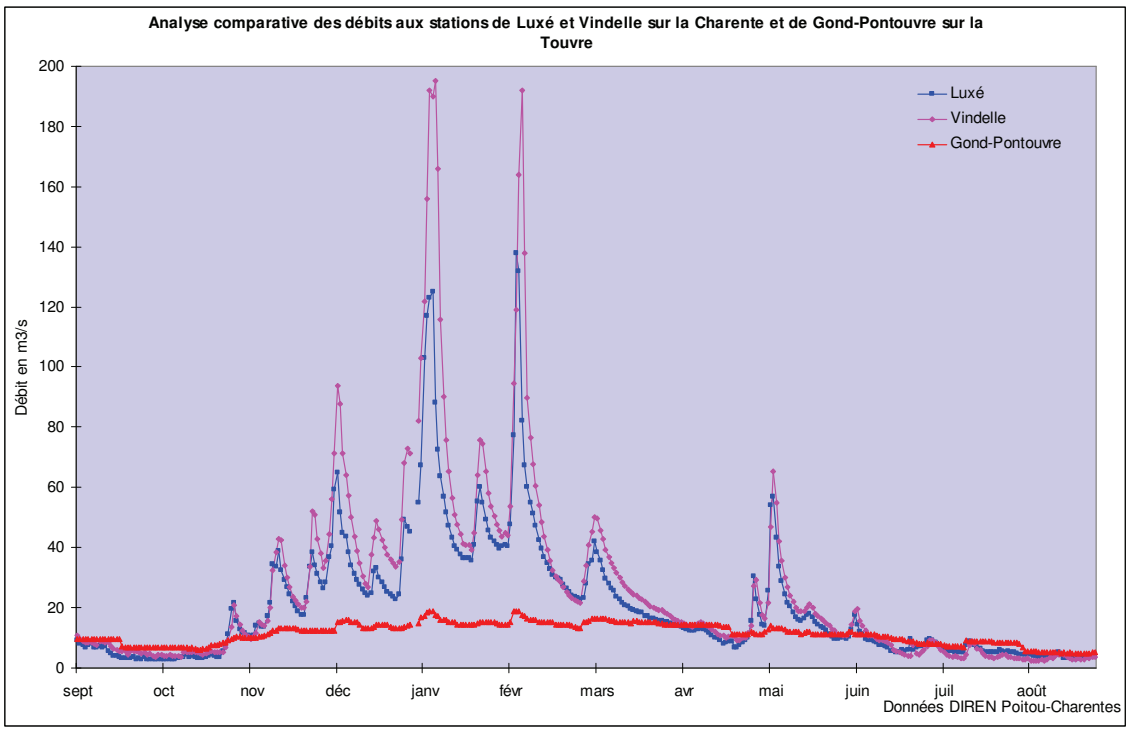


Illustration 95 : Comparaison des débits aux stations de Luxé, Vindelle et Foulpougne sur le cycle septembre 2002/septembre 2003.

Du fait des nombreuses interruptions dans les séquences de données de débit, la modélisation de Vindelle n'a été réalisée que sur la période 2000/2003. Sur cette période, le calage du modèle sur la chronique est particulièrement correct avec un R2 dépassant 0.93.

En entrée le modèle intègre les débits à Luxe, le piézomètre d'Aigre pour la composante nappe du Jurassique supérieur, les lâchers. La modélisation montre que la composante rapide (prédominante) et le débit à Luxé expliquent la grosse partie des débits hivernaux de Vindelle. La composante de la nappe du Jurassique, à travers le piézomètre d'Aigre, fournit une part non négligeable du débit d'étiage. Les lâchers ont un impact très amorti.

En prévision, la courbe théorique 5 ans secs (Illustration 97) donne une valeur d'étiage « naturel » autour de **4.6 m^3/s**, ce qui est nettement supérieur au DOE (3 m^3/s) et au DCR (2.5 m^3/s).

La superposition des courbes théoriques sur les chroniques souligne un décalage entre débits observés l'été et débits théoriques. Comme pour Luxé, l'impact des pompages est avancé pour expliquer ce décalage. La superposition sur ces graphes des chroniques les plus anciennes (1978-1980) disponibles montrent en effet des niveaux d'étiages nettement supérieurs aux niveaux actuels (autour de 4 m^3/s). Les étiages sont en plus actuellement beaucoup plus précoces.

Par ailleurs il est à noter que la modélisation nous donne des débits « pseudo-naturels » à Vindelle peu différents de ceux de la station plus amont de Luxé. Ce faible écart semble traduire que naturellement en période d'étiage il y a peu d'apports latéraux sur le tronçon de la Charente entre les 2 stations. Avec la partie aval de l'Aume-Couture, la vallée de la Charente, qui a un cours là très sinueux, correspond entre Luxé et Vindelle à de faibles pentes et à des zones « naturellement » humides alimentées par la nappe du Jurassique supérieur et jouant un rôle d'éponge. C'est bien sûr une interprétation qui demande à être confirmée et étayée.

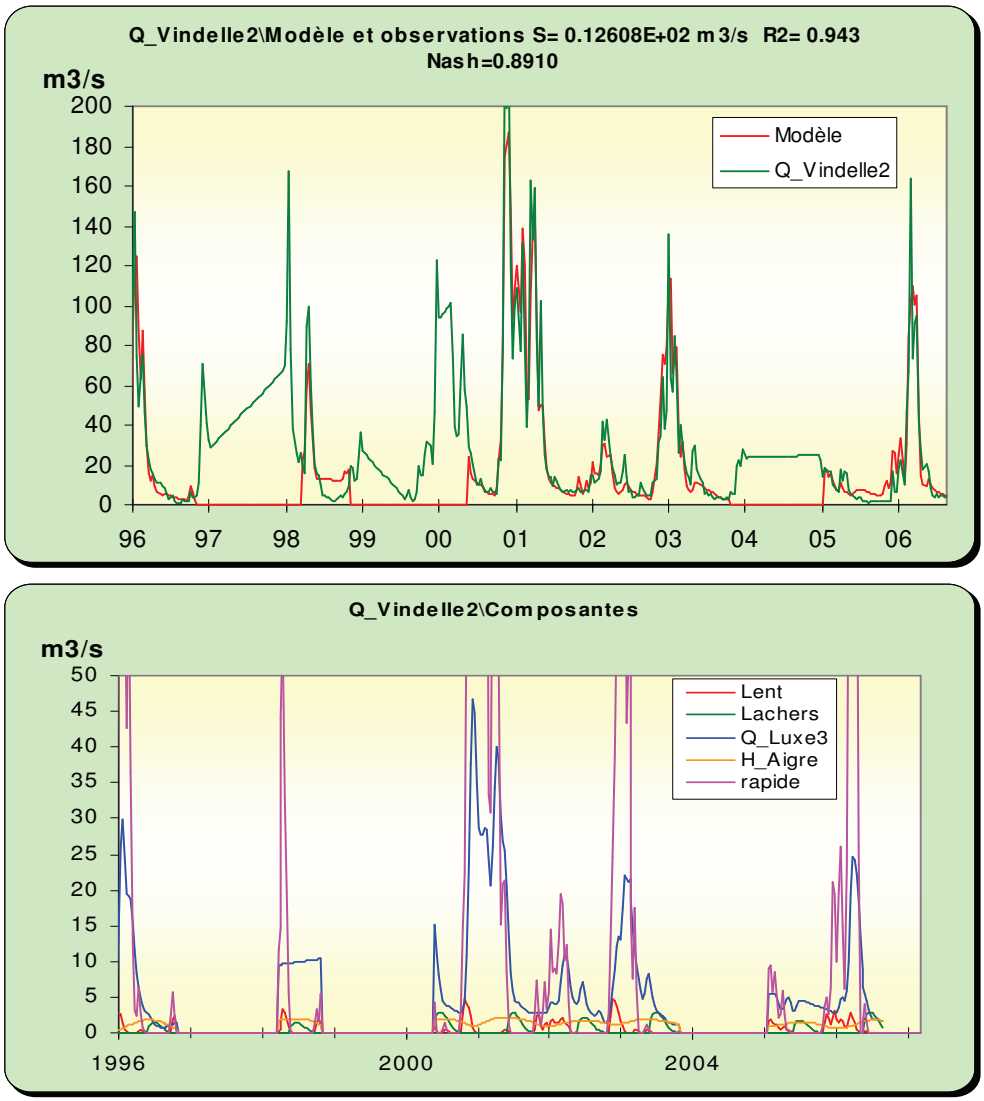
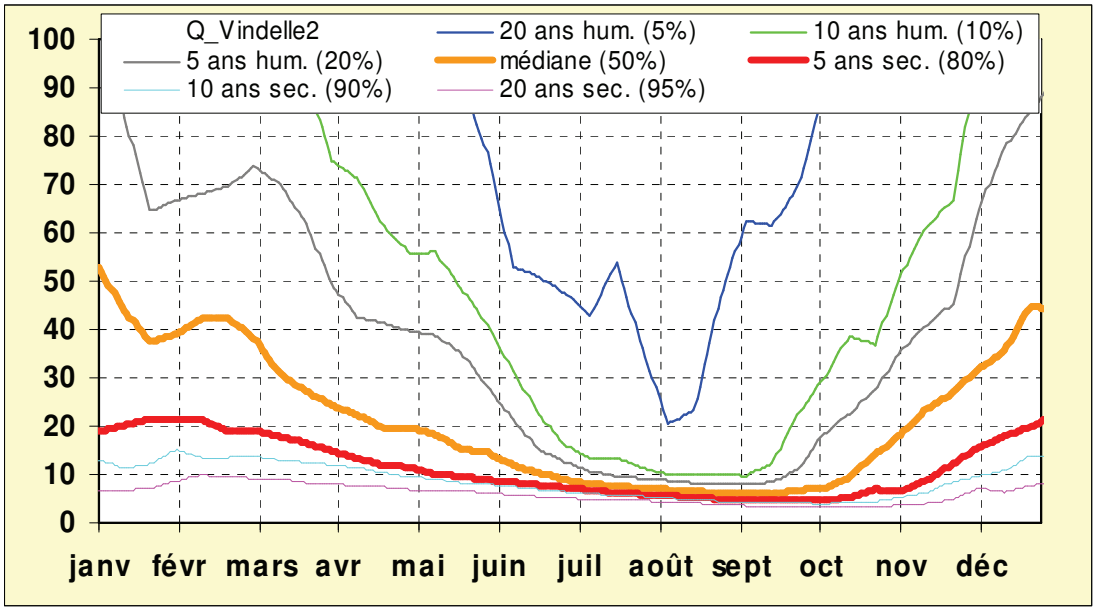


Illustration 96 : Modélisation de la station de Vindelle de haut en bas : superposition du modèle sur la chronique, les différentes composantes, analyse impulsionnelle des composantes.



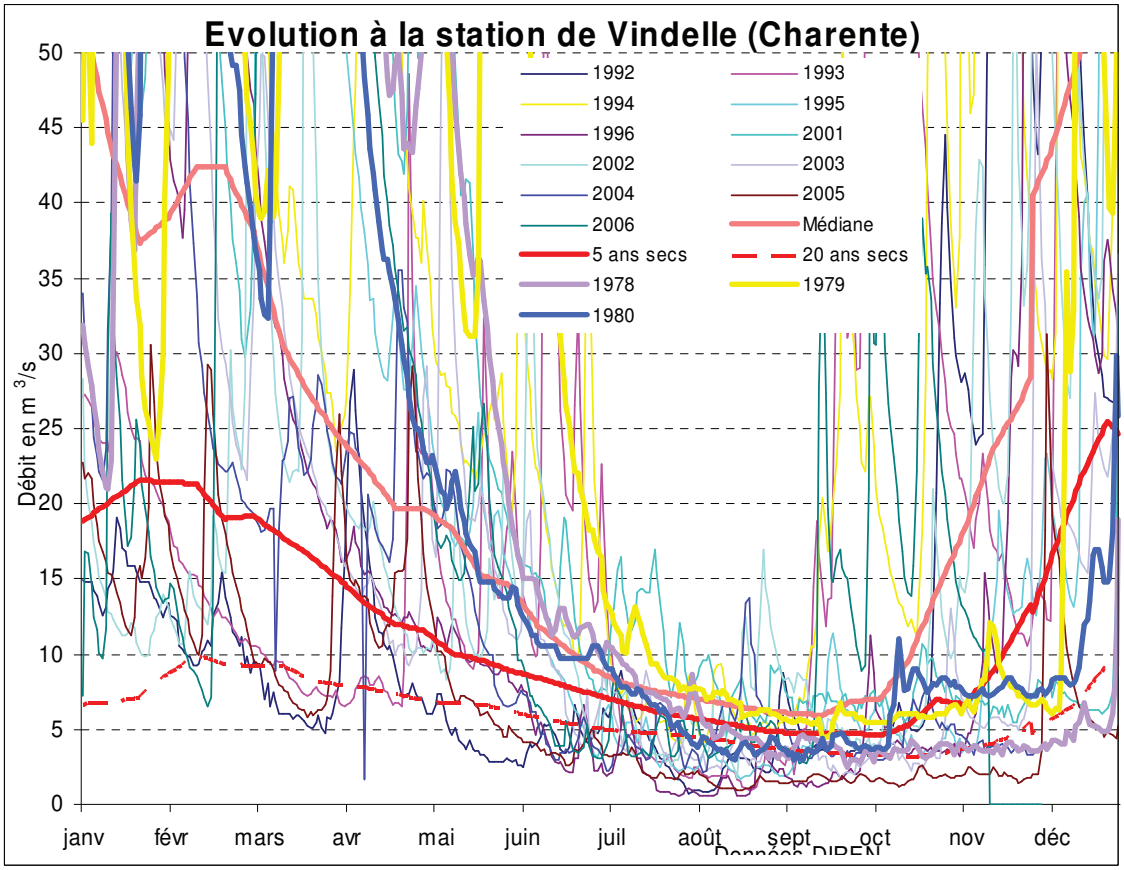


Illustration 97 : Utilisation du modèle de la station de Vindelle en prévision : <u>en haut</u> courbes théoriques avec période de retour, <u>en bas</u> superposition des courbes médiane, 5 et 20 ans secs sur les chroniques annuelles.

Station de La Feuillade

La station de la Feuillade est située sur le Bandiat, dans la partie amont du karst de la Rochefoucauld. A la sortie du département de la Dordogne, cette rivière connaît là ses premières pertes vers la nappe karstique du Jurassique.

Plusieurs scénarii ont été utilisés en modélisation : pluie/débit d'une part, pluie/nappe/débit d'autre part. C'est ce dernier type de scénario qui donne les meilleurs calages avec le piézomètre de Bouex.

Ce piézomètre permet d'expliquer une grande partie des débits estivaux. Ces corrélations traduisent l'existence de liens directs et rapides entre la rivière et la nappe karstique.

Utilisé en prévision, le modèle montre une différence entre les courbes théoriques et les chroniques de mesures. Les premières restent nettement au-dessus des secondes. Les différences correspondent aux pertes de débit de la rivière qui peuvent être estimées là autour de 1.5 à 2 m^3/s.

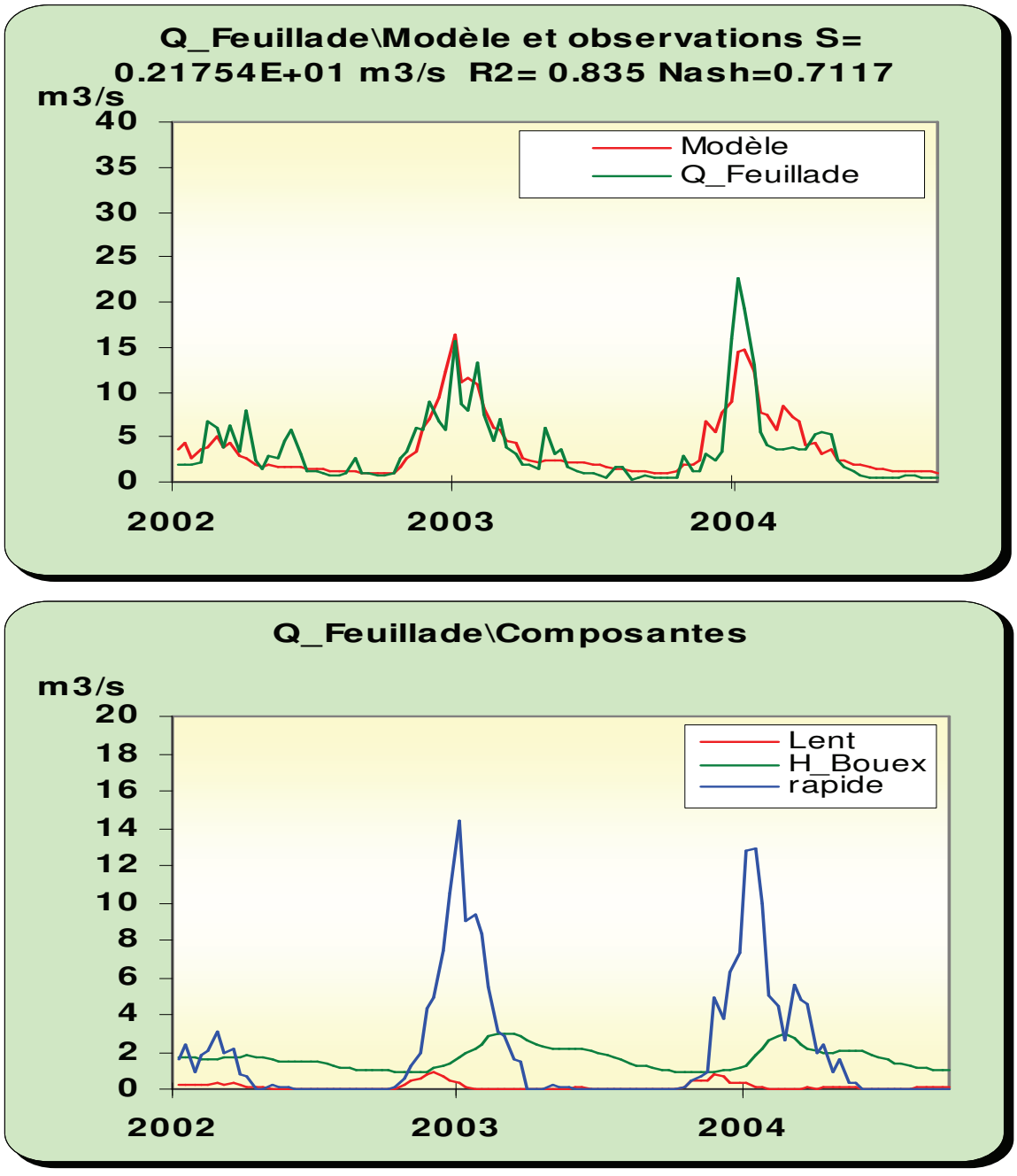


Illustration 98 : Modélisation de la station de la Feuillade de haut en bas : superposition du modèle sur la chronique, les différentes composantes.

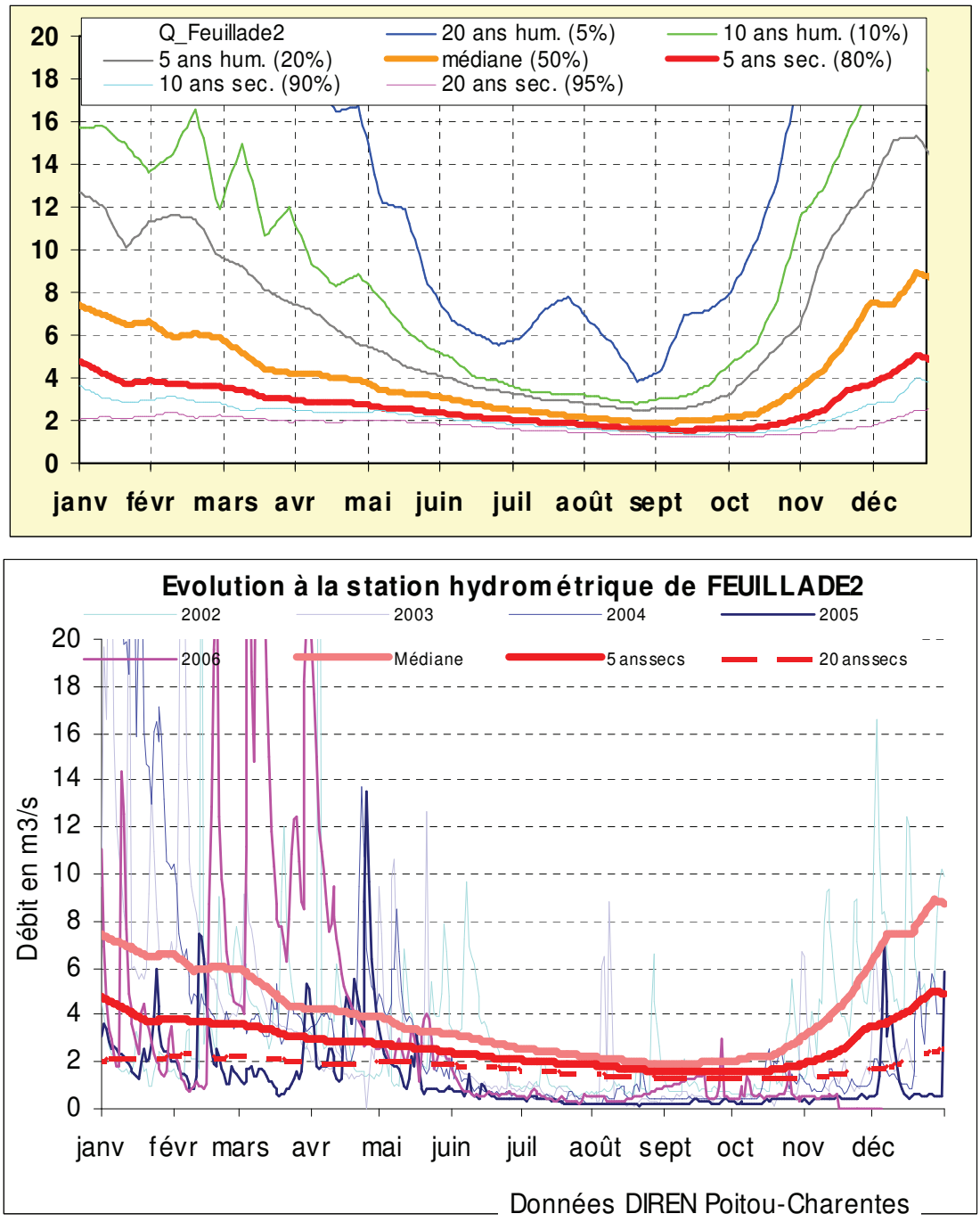


Illustration 99 : Utilisation du modèle de la station de la Feuillade en prévision : <u>en haut</u> courbes théoriques avec période de retour, <u>en bas</u> superposition des courbes médiane, 5 et 20 ans secs sur les chroniques annuelles.

Station de Montbron

La station de Montbron est située sur la Tardoire à l'amont du karst de La Rochefoucauld.

Comme pour la station précédente, le modèle de Montbron est assez atypique avec des transferts rapides importants. Le piézomètre de St-Projet explique relativement bien les étiages. Les transferts lents inexistants sont exprimés à travers ce piézomètre.

En revanche, contrairement à la station de La Feuillade, la superposition des courbes théoriques obtenues en prévision sur les chroniques annuelles ne montrent pas un écart important. La station est en effet à l'amont des pertes de la Tardoire vers la nappe.

Utilisé en prévision, le modèle donne un débit d'étiage 5 ans secs autour de **1.1 m^3/s**.

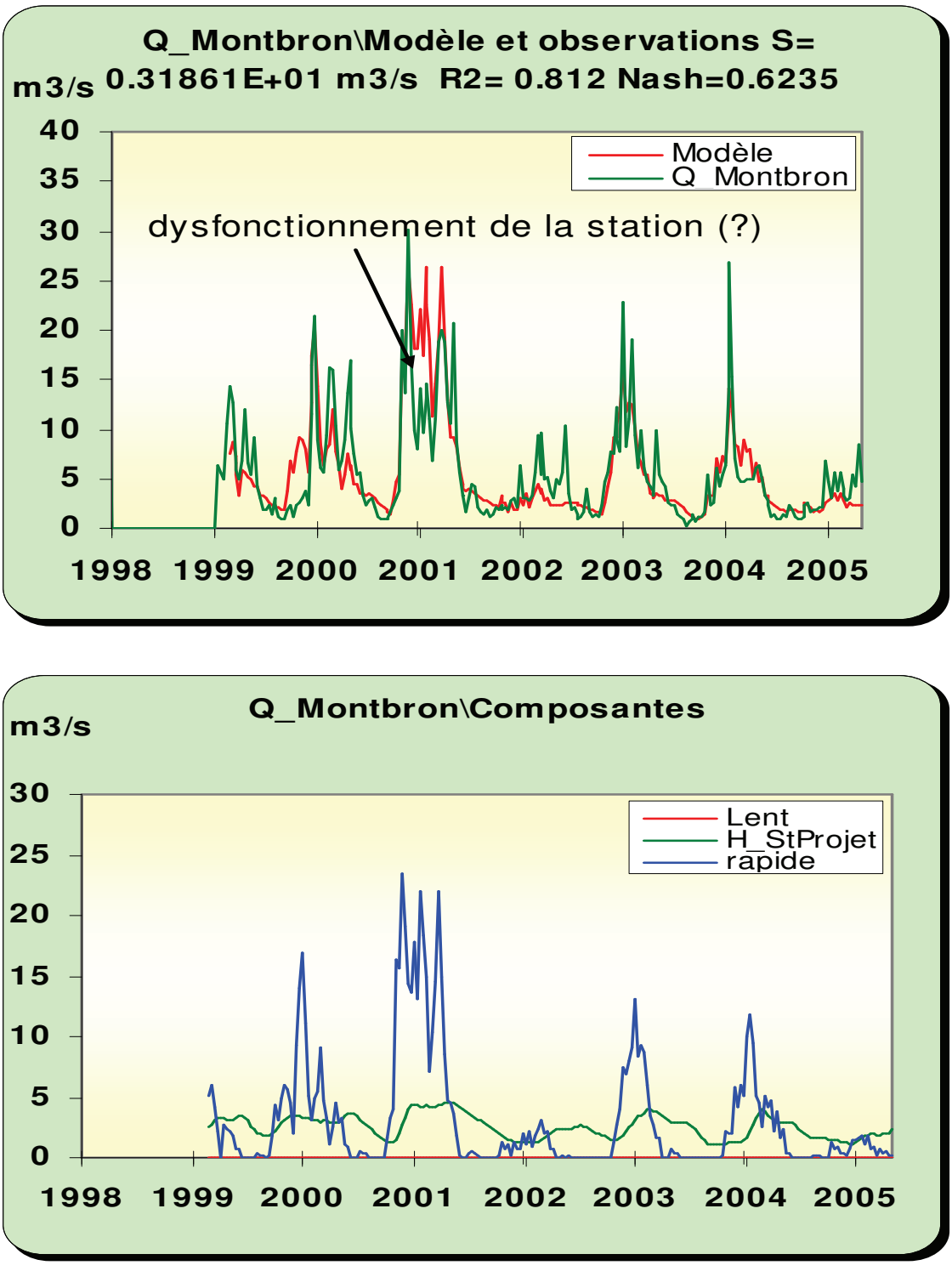
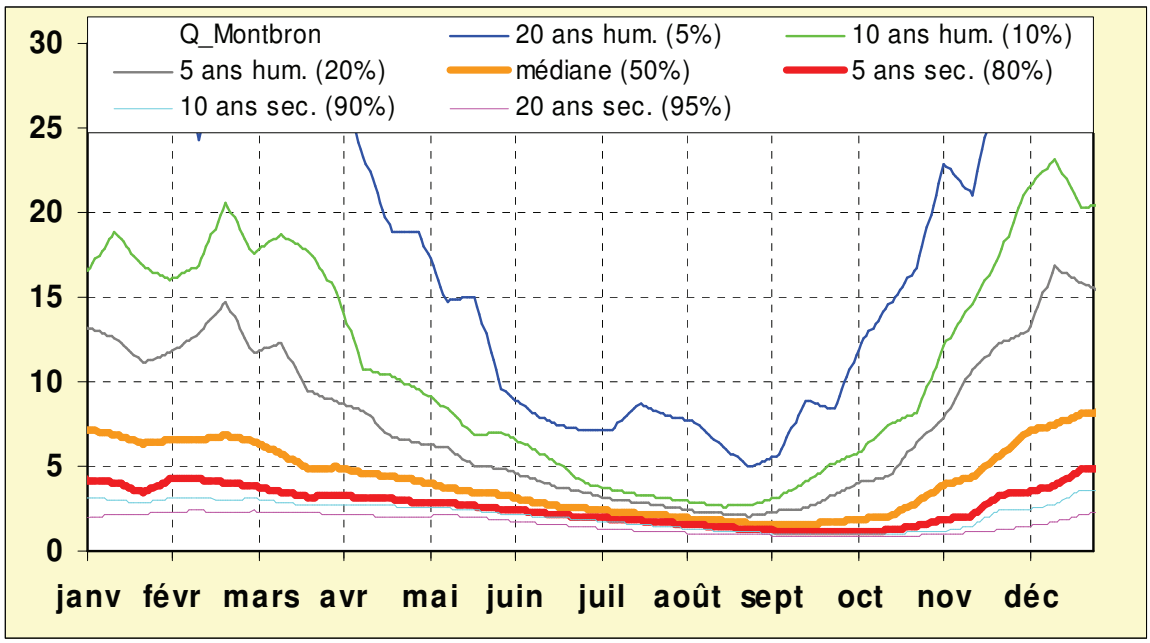


Illustration 100 : Modélisation de la station de Montbron de haut en bas : superposition du modèle sur la chronique, les différentes composantes.



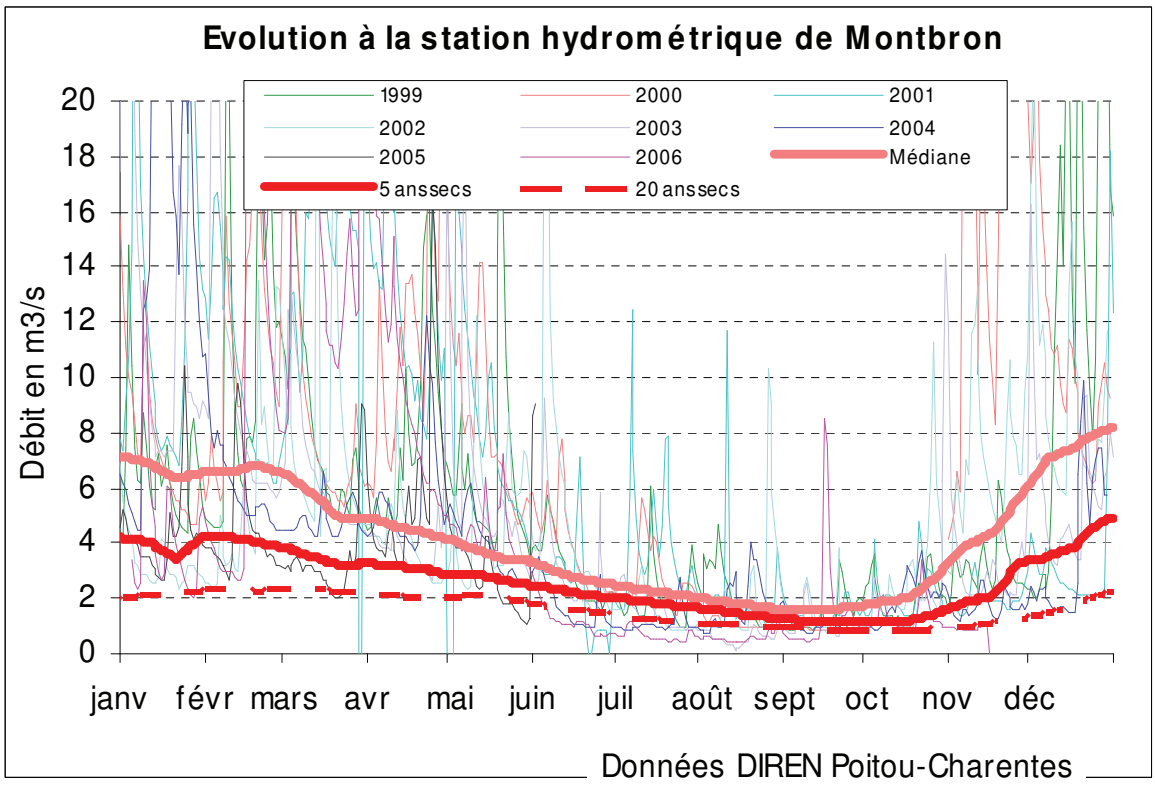


Illustration 101 : Utilisation du modèle de la station de Montbron en prévision : <u>en haut</u> courbes théoriques avec période de retour, <u>en bas</u> superposition des courbes médiane, 5 et 20 ans secs sur les chroniques annuelles.

Station de Coulgens

Cette station présente l'avantage d'être située sur la Tardoire dans la partie aval. Elle permet d'estimer les pertes vers le karst par différence avec les 2 stations amont précédentes.

La modélisation conduit à des résultats comparables aux 2 stations précédentes. Il y a une composante rapide prépondérante et une composante lente. En basses eaux le débit de la rivière est nulle ce que reproduit difficilement le modèle.

La superposition des courbes prévisionnelles sur la chronique de mesures montre la même chose. Alors que le débit est nul en général de mai à octobre, la courbe 5 ans secs donne un débit d'étiage autour de 0.2 m^3/s. On remarquera que ce débit est très inférieur au débit des pertes estimées au niveau de la station de la Feuillade.

La station de Coulgens enregistre en effet les « fuites » d'écoulements qui ne viennent pas alimenter le karst. En hiver, le réseau superficiel fonctionne mais le régime de pertes également. Du printemps à l'automne il y a rupture d'écoulement.

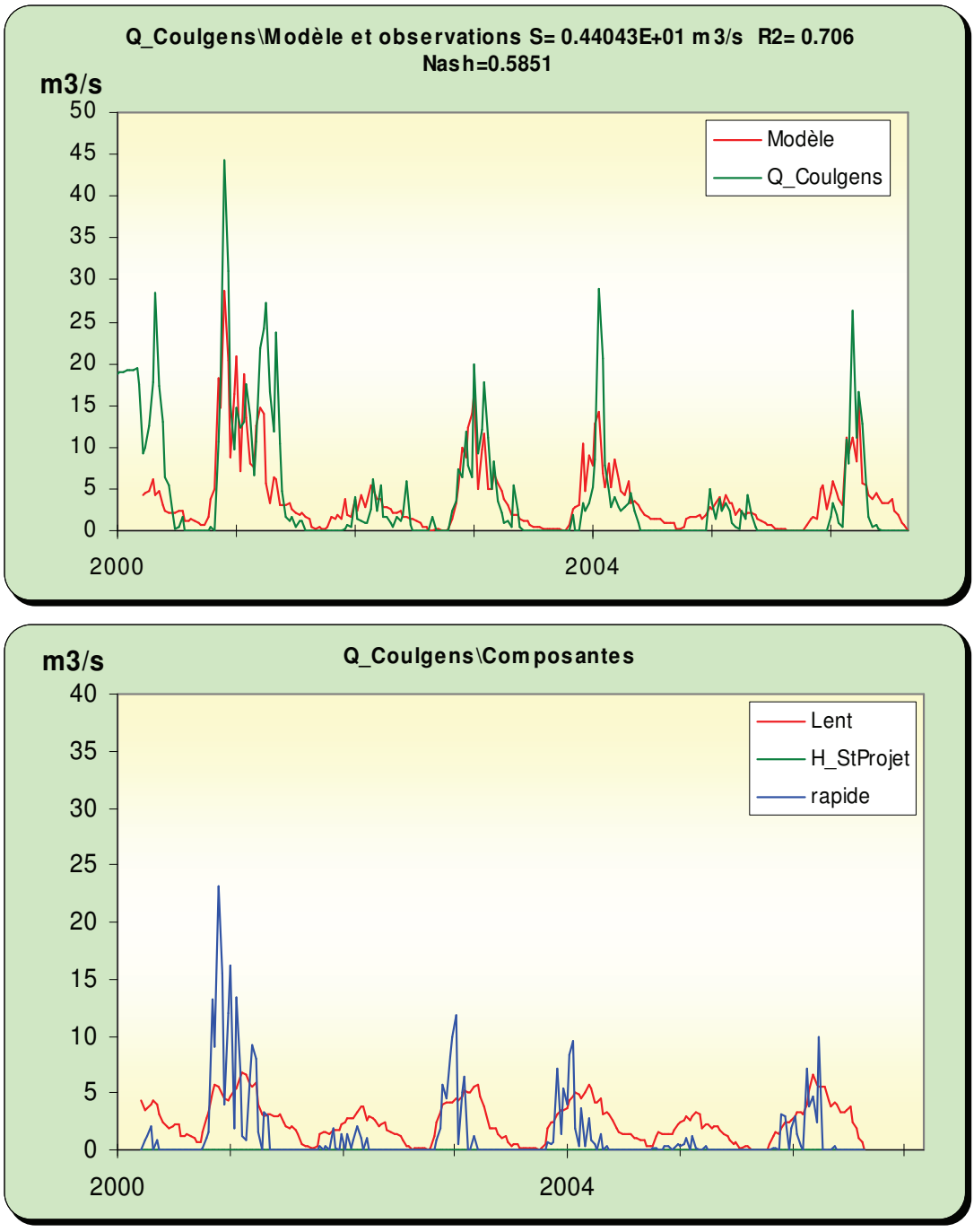
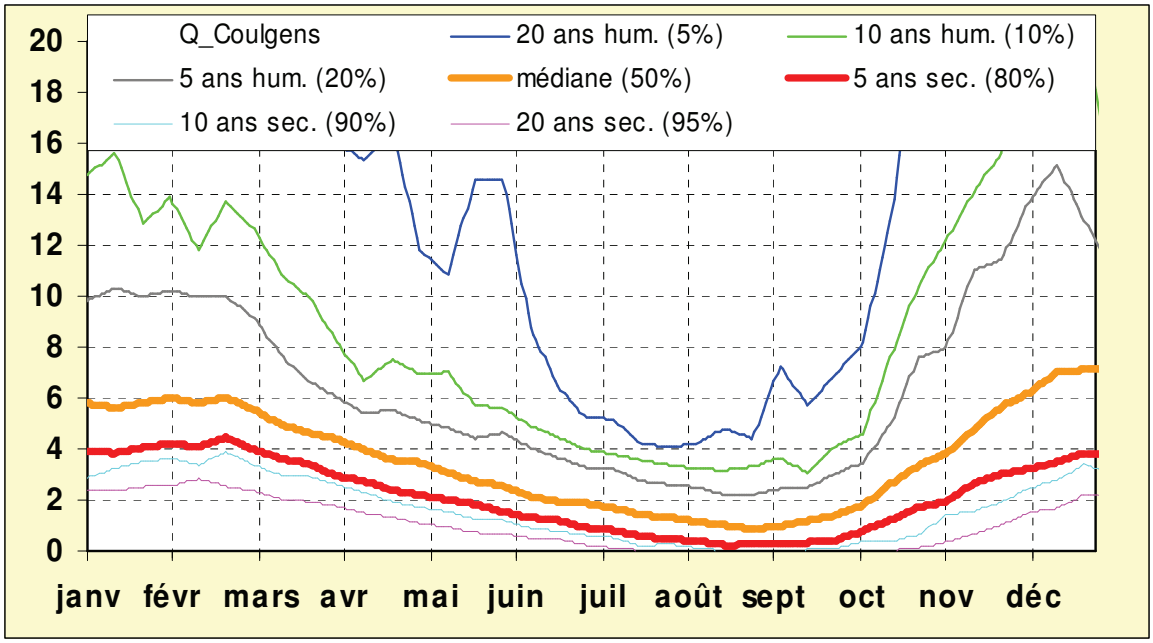


Illustration 102 : Modélisation de la station de Coulgens de haut en bas : superposition du modèle sur la chronique, les différentes composantes.



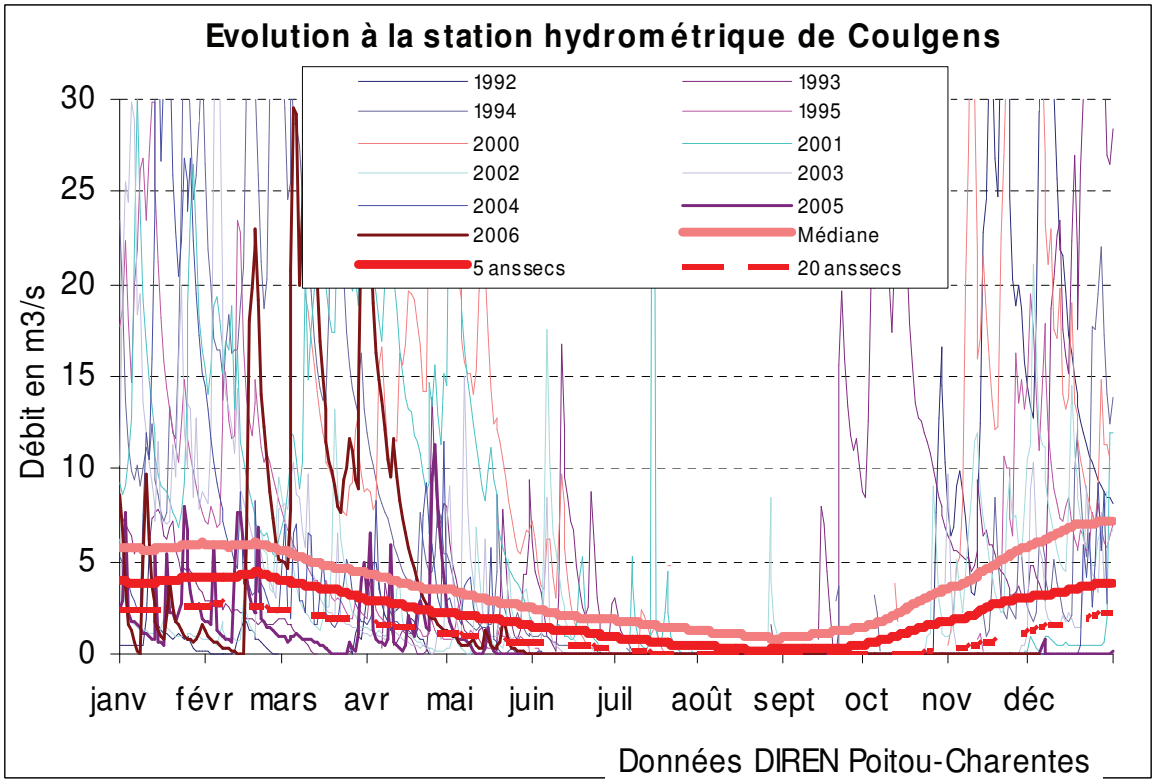


Illustration 103 : Utilisation du modèle de la station de Coulgens en prévision : <u>en haut</u> courbes théoriques avec période de retour, <u>en bas</u> superposition des courbes médiane, 5 et 20 ans secs sur les chroniques annuelles.

Station de Villebette

La station de Villebette mesure le débit de la Bonnieure à l'aval avant sa confluence avec la Tardoire. La Bonnieure perd également une partie de ses eaux au profit du karst. Mais les circulations souterraines varient dans l'année et ces pertes vers la nappe se feraient essentiellement en période de basses eaux.

Comme pour les autres modèles du karst de la Rochefoucauld, la modélisation met en évidence des transferts rapides et une corrélation du débit de la rivière avec la nappe du Dogger à travers le piézomètre d'Amant.

Le calage est assez moyen, surtout l'été où du fait des pertes le débit mesuré est faible (débit d'étiage 5 ans secs de 0.04 m^3/s).

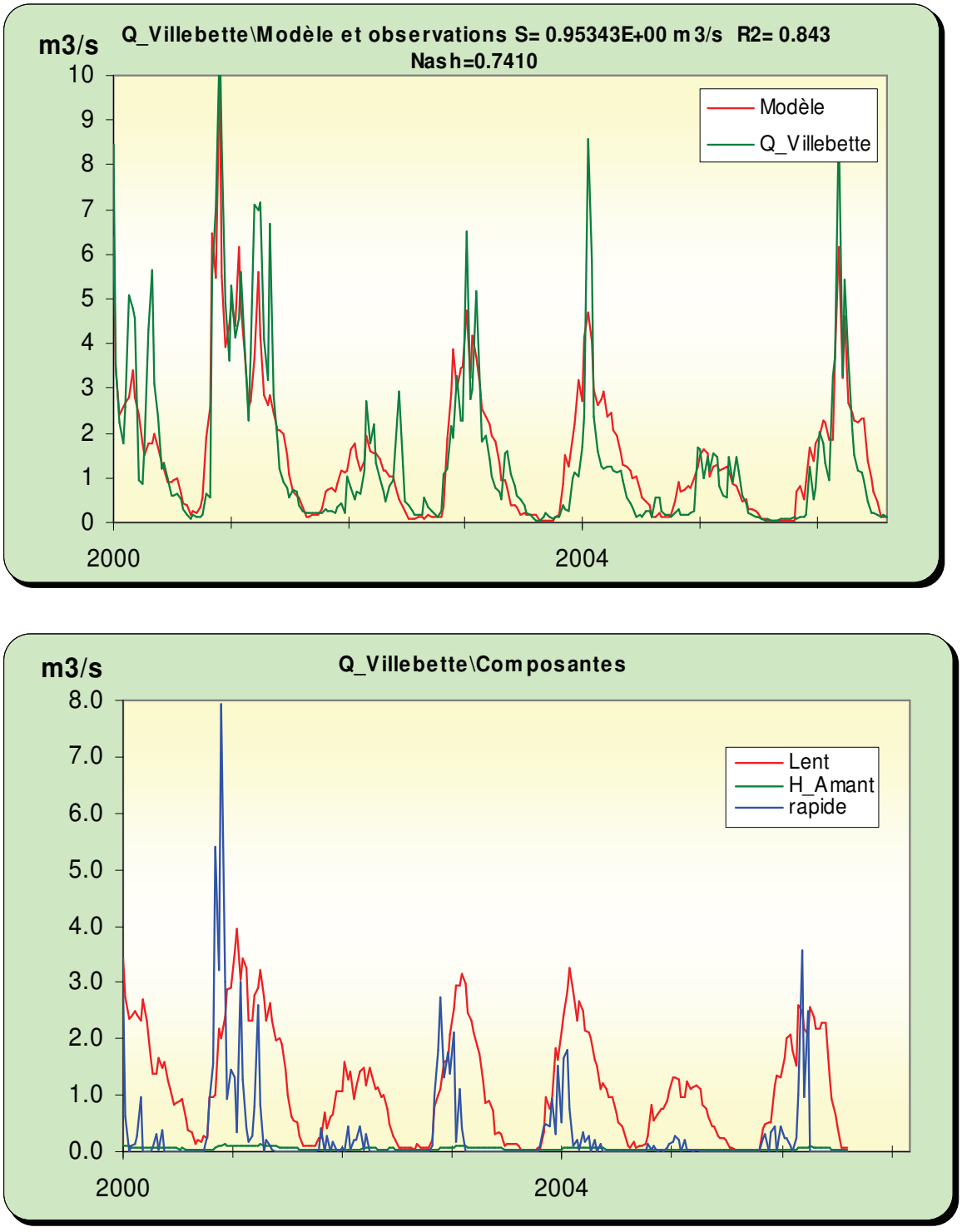
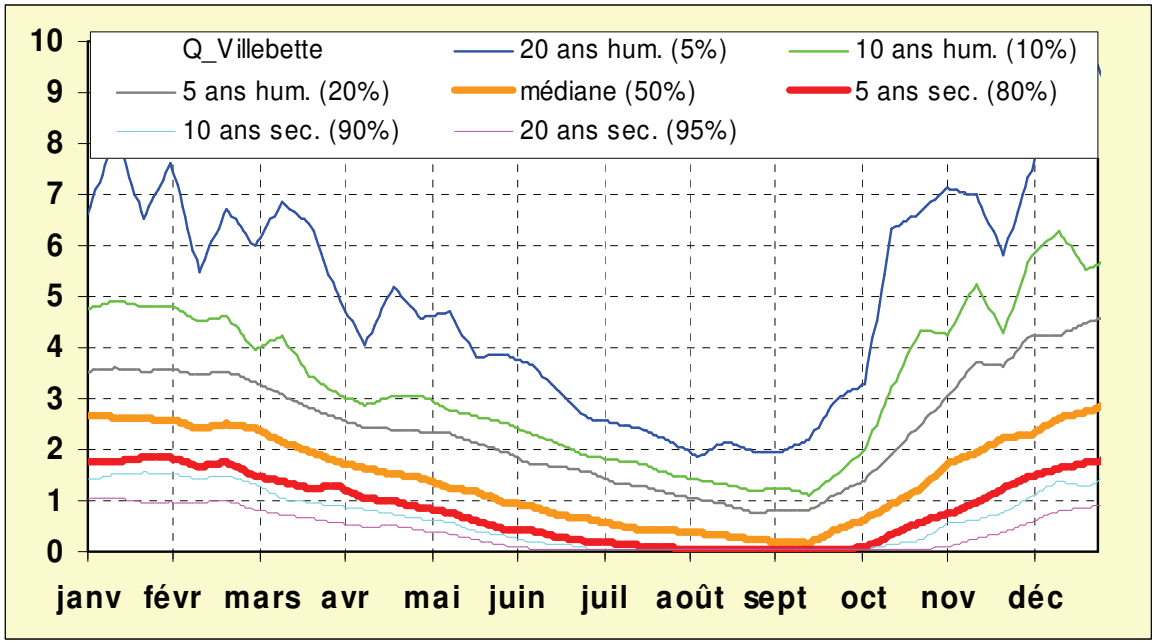


Illustration 104 : Modélisation de la station de Villebette de haut en bas : superposition du modèle sur la chronique, les différentes composantes.



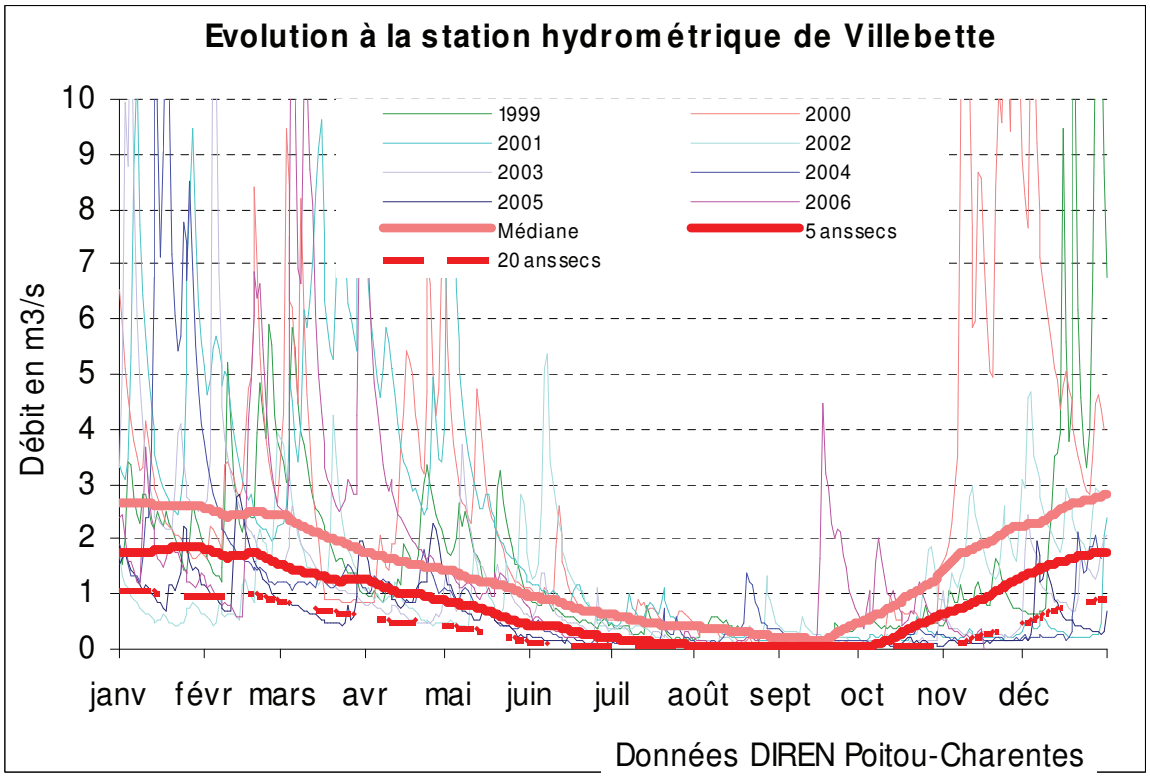


Illustration 105 : Utilisation du modèle de la station de Villebette en prévision : en haut courbes théoriques avec période de retour, en bas superposition des courbes médiane, 5 et 20 ans secs sur les chroniques annuelles.

Station de Foulpougne

La station de Foulpougne est située sur la Touvre non loin de la confluence avec la Charente. Cette station intègre essentiellement les débits des sources de la Touvre et de la Lèche, auxquels viennent s'ajouter les écoulements sur le petit bassin versant de la rivière Touvre entre les sources et la confluence.

Le graphe (Illustration 95) comparant les débits à Luxé, Vindelle et Foulpougne souligne le lissage opéré par le réservoir souterrain du karst de La Rochefoucauld. Les sources de la Touvre et de la Lèche sont en effet des sources de débordement de la nappe karstique. Au droit des sources, les conduites karstiques ont été reconnues jusqu'à plus de 140 m de profondeur.

En été, le débit à Foulpougne est comparable, voire supérieur comme ce fut le cas en 2005, au débit à Vindelle. Ce sont donc des apports importants et en plus réguliers pour la Charente, qui intègrent les prélèvements pour l'Alimentation en Eau Potable (pour Angoulême en particulier) et pour l'agriculture sur le karst.

Malgré le caractère karstique du réservoir, le modèle de Foulpougne est calé d'une manière satisfaisante. Après plusieurs essais, le meilleur calage a été obtenu avec en entrée les piézomètres de St-Projet et de Chazelles, les deux captant la nappe karstique du Dogger à l'amont des sources.

Les essais réalisés avec les chroniques des débits de la Tardoire/Bandiat, Bonnieure conduisent à des résultats médiocres en matière de calage, ce qui souligne l'absence de corrélation des signaux en quelque sorte « effacés » par les transferts souterrains.

Les 3 composantes mises en avant par la modélisation, nappe du Dogger sur St-Projet, nappe du Dogger sur Chazelles, ruissellement et transferts rapides, ont des importances assez proches.

La chronique présente une tendance à une légère baisse entre 2000 et 2006. Le signal du piézomètre de Chazelles exprimerait mieux cette tendance. Le piézomètre de St-Projet en revanche expliquerait mieux les fluctuations annuelles. En ce qui concerne les débits de Foulpougne, la contribution de Chazelles serait plus importante, ce qui apparaît aussi comme plus logique puisque ce piézomètre est plus proche et plus dans l'axe des sources.

En prévision, la courbe 5 ans secs donne un débit d'étiage autour de **4.2 m^3/s** (le DOE est à 6.5 et le DCR à 2.8 m^3/s). La superposition des courbes théoriques sur les chroniques annuelles (Illustration 107) souligne l'impact des prélèvements qui avancent la période d'étiage. La courbe 2005 est en particulier assez intéressante à suivre. Elle coïncide à peu près avec la courbe théorique 5 ans secs jusqu'au mois de mai où elle commence à décrocher pour rejoindre la courbe 20 ans secs (impact des prélèvements ?). Ensuite elle reprend en août une évolution plus proche de la courbe 5 ans secs.

Il convient aussi de remarquer, que l'enregistrement de la station est d'assez mauvaise qualité avec des marches d'escaliers. Le modèle toutefois lisse ce phénomène. De plus la station en basses eaux (notamment 2005) semble se bloquer sur un palier, que bien évidemment le modèle ne peut reproduire, la courbe modélisée descendant plus bas que la courbe des mesures ce qui est plus réaliste.

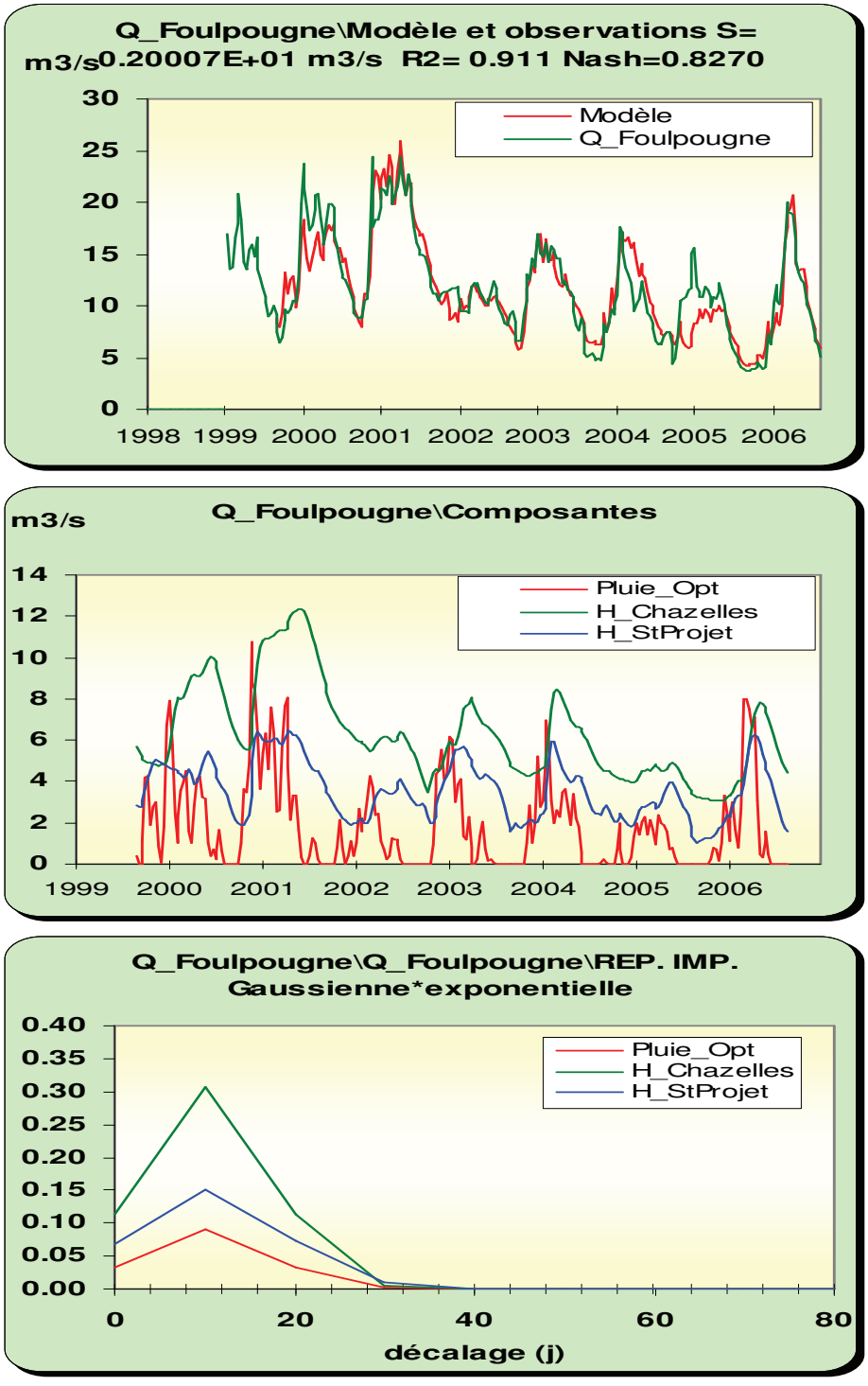
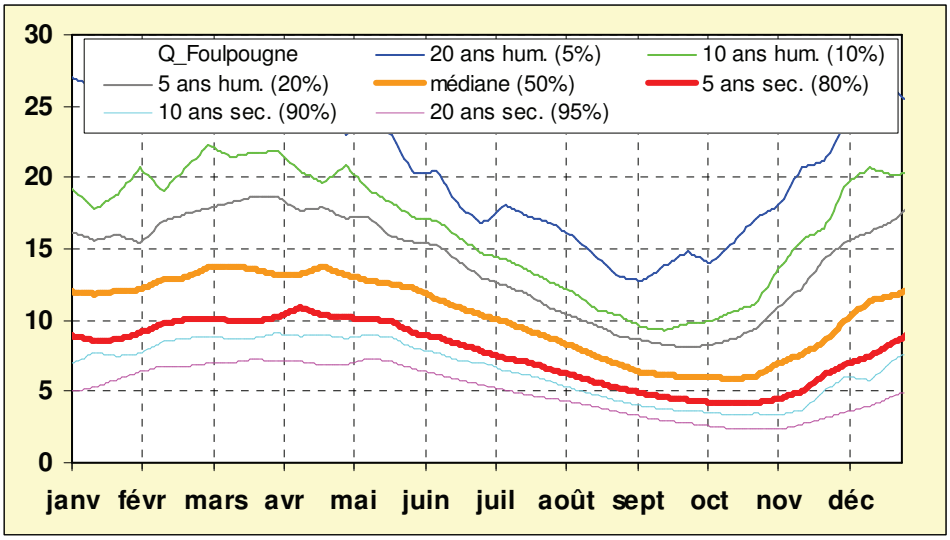


Illustration 106 : Utilisation du modèle de la station de Villebette en prévision : en haut courbes théoriques avec période de retour, en bas superposition des courbes médiane, 5 et 20 ans secs sur les chroniques annuelles.



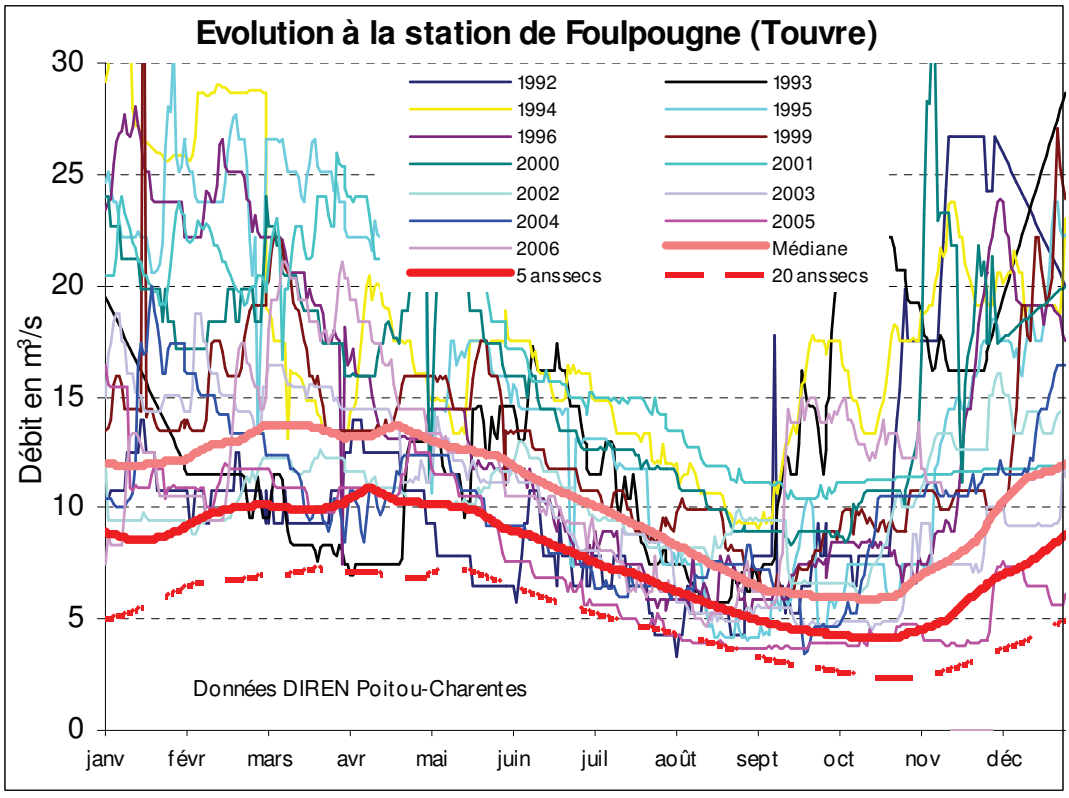


Illustration 107 : Utilisation du modèle de la station de Foulpougne en prévision : <u>en haut</u> courbes théoriques avec période de retour, <u>en bas</u> superposition des courbes médiane, 5 et 20 ans secs sur les chroniques annuelles.

4.2 LA CHARENTE AVAL (DE VINDELLE A LA MER)

4.2.1. Analyse des chroniques piézométriques

Piézomètre de Juillers (06605X0004) Jurassique Supérieur

Ce piézomètre est situé en tête du bassin de l'Antenne. Avec 50 m de profondeur il capte l'aquifère superficiel de fissuration et altération des formations marno-calcaires du Jurassique supérieur, du Tithonien au Kimméridgien.

Avec un R2 de 0.92, le calage du modèle est satisfaisant. La superposition du modèle sur la chronique montre toutefois un léger décalage à partir de 51 m NGF, soit 16 m de profondeur. Ce décalage est interprété comme un contraste de perméabilité. En effet, le réservoir « se ferme » en profondeur, la zone fissurée en général de couleur ocre laisse place à des niveaux massifs imperméables, de couleur bleu, traduisant l'absence d'eau.

Parallèlement à cette hétérogénéité du réservoir et à ces contrastes de perméabilité, la modélisation met aussi en évidence un phénomène de débordement autour de la cote de 60 m NGF et un seuil basses eaux à 46 m NGF.

Il n'existe qu'une composante lente ; les phénomènes de débordement sont peu importants. Sur l'analyse impulsionnelle, la composante lente présente un maximum au bout d'un mois et une pluie efficace n'a plus d'impact au bout de 5 mois. La mise en charge est quasi-immédiate à travers le réseau de fractures au moment d'une pluie efficace. L'aquifère et la zone non-saturée qui le surmonte sont en effet peu capacitifs (faible stock d'eau) mais en revanche à perméabilité élevée dans le réseau de fractures.

Utilisé en prévision, le niveau d'étiage 5 ans secs est de 46.5 m NGF. La superposition des courbes théoriques sur la chronique annuelle (Illustration 109) montre toutefois un léger décalage (contraste vertical de perméabilité ?).

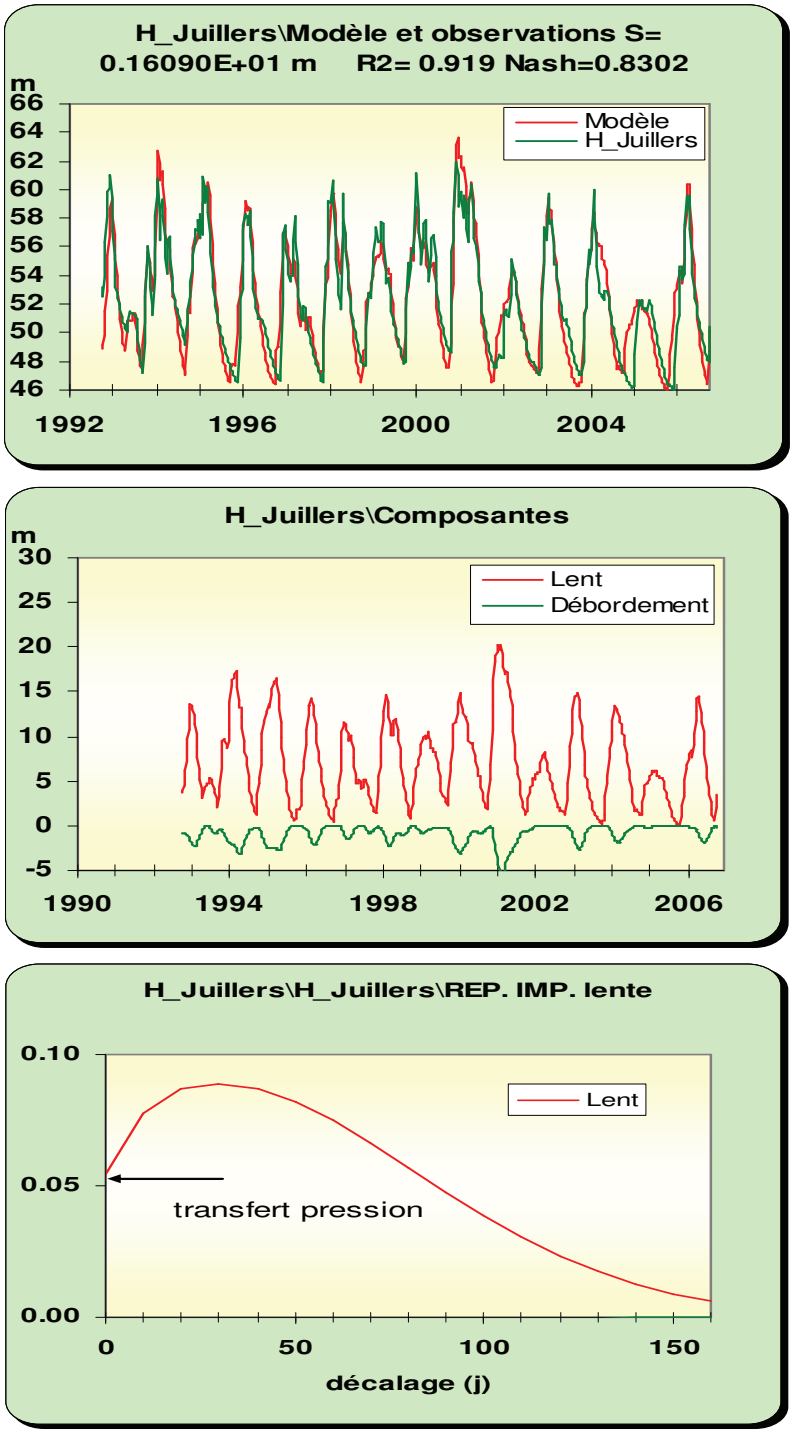
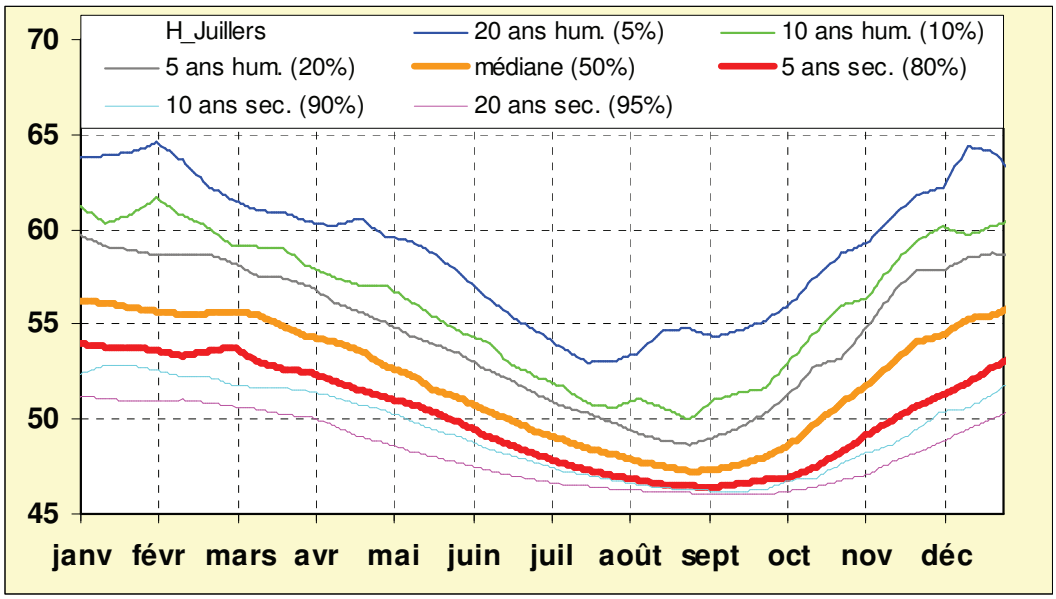


Illustration 108 : Modélisation du piézomètre de Juillers (Jurassique supérieur), de haut en bas : superposition du modèle sur la chronique, les différentes composantes, analyse impulsionnelle de la composante lente.



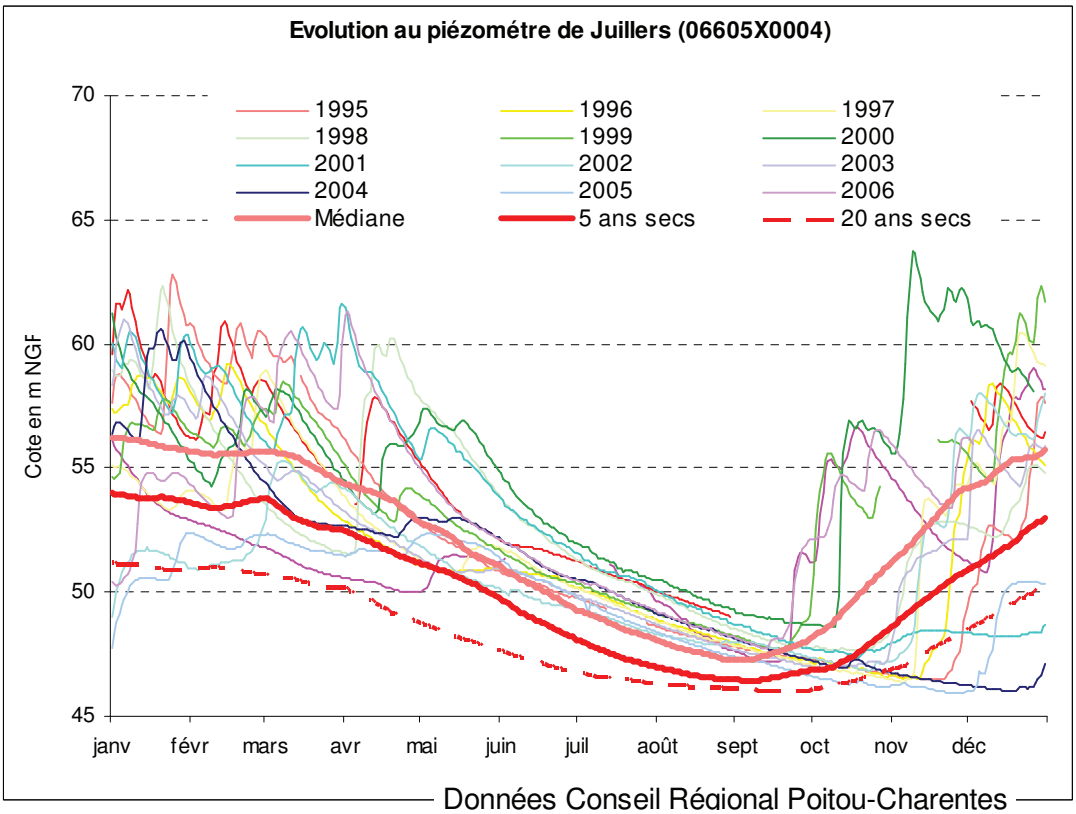


Illustration 109 : Utilisation du modèle du piézomètre de Juillers en prévision : <u>en haut</u> courbes non influencé par les pompages (en m NGF) avec période de retour, <u>en bas</u> superposition des courbes médiane, 5 et 20 ans secs sur les chroniques.

Piézomètre de Ballans (06842X0015) Tithonien

Ce piézomètre de 30 m de profondeur capte la nappe libre du Tithonien (Jurassique supérieur). Il est situé pratiquement sur l'interfluve entre les bassins versants de la Rouzille (au Nord) et de la Soloire (Malemort).

Le modèle est bien calé (R2 = 0.93) et ne fait pas apparaître d'impact significatif des pompages.

En revanche, le battement de ce piézomètre est encadré par un seuil haut de débordement (67.6 m NGF) et un seuil bas (48.2 m NGF) de soutien d'étiage. Ces cotes correspondent aux cotes des cours d'eau : La Rouzille à Siecq et la Soloire à Neuvicq sont à peu prés autour de 67 m NGF, le Malemort à Macqueville (Malémont) autour de 47 m NGF.

La décomposition du signal piézométrique donne une composante lente très majoritaire, avec un pic « impulsionnel » autour de 20/30 jours et un retour à 0 au bout de 4 mois, et une composante rapide avec un pic au bout de 10/15 jours. La mise en charge est toutefois quasi-immédiate après une pluie efficace ce qui souligne le caractère fissuré de l'aquifère : le transfert de pression se fait par la mise en charge du réseau de fractures.

La composante débordement reste modérée.

Utilisé en prévision, le modèle restitue un niveau d'étiage de 48.2 m NGF 5 ans secs, ce qui correspond (fort logiquement) au seuil bas évoqué ci-dessus.

La superposition des courbes théoriques sur les chroniques annuelles (Illustration 111) souligne ce seuil bas ainsi que la rapide réaction de la piézométrie à une pluie efficace.

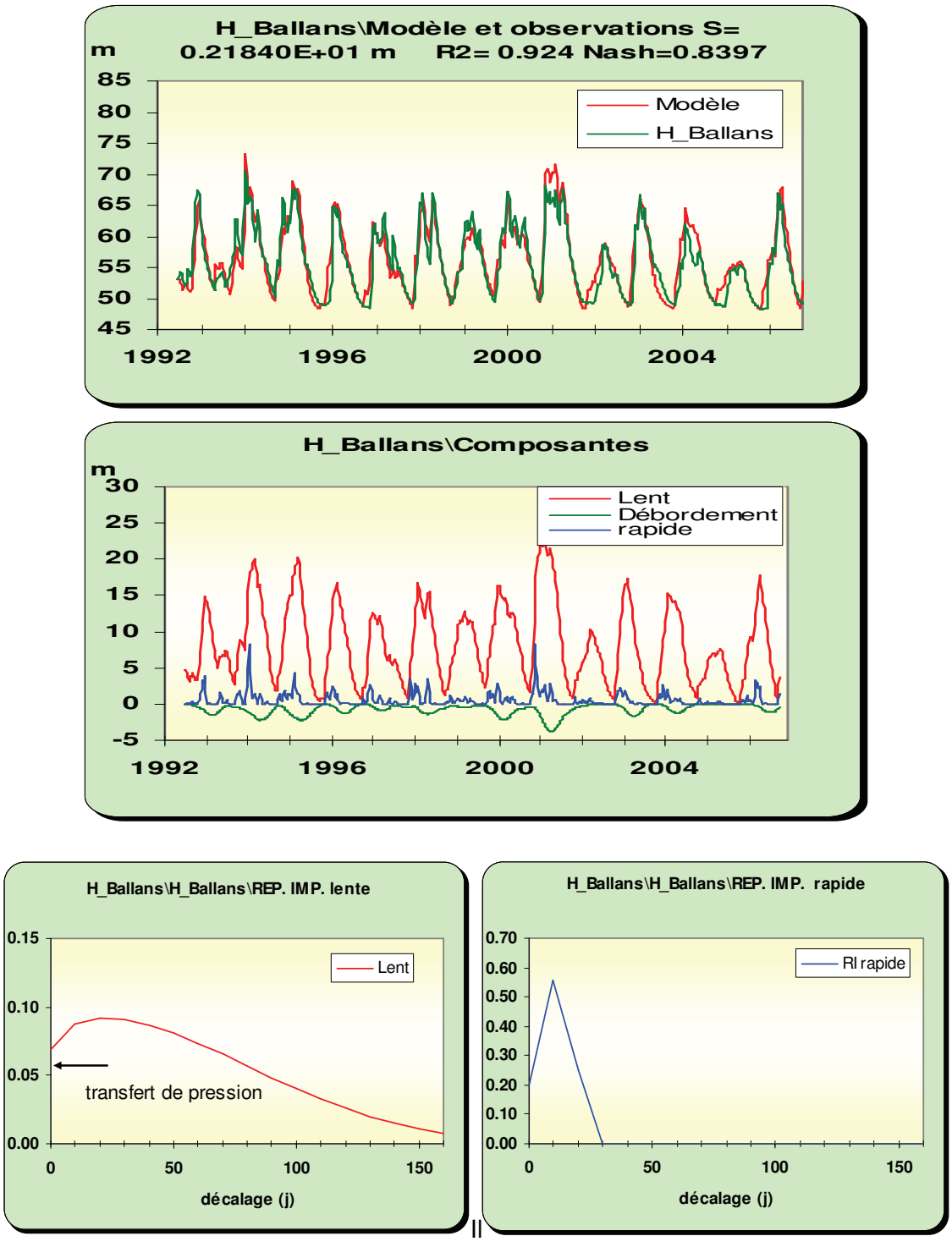


Illustration 110 : Modélisation du piézomètre de Ballans (Jurassique supérieur), de haut en bas : superposition du modèle sur la chronique, les différentes composantes, analyse impulsionnelle des composantes lente et rapide.

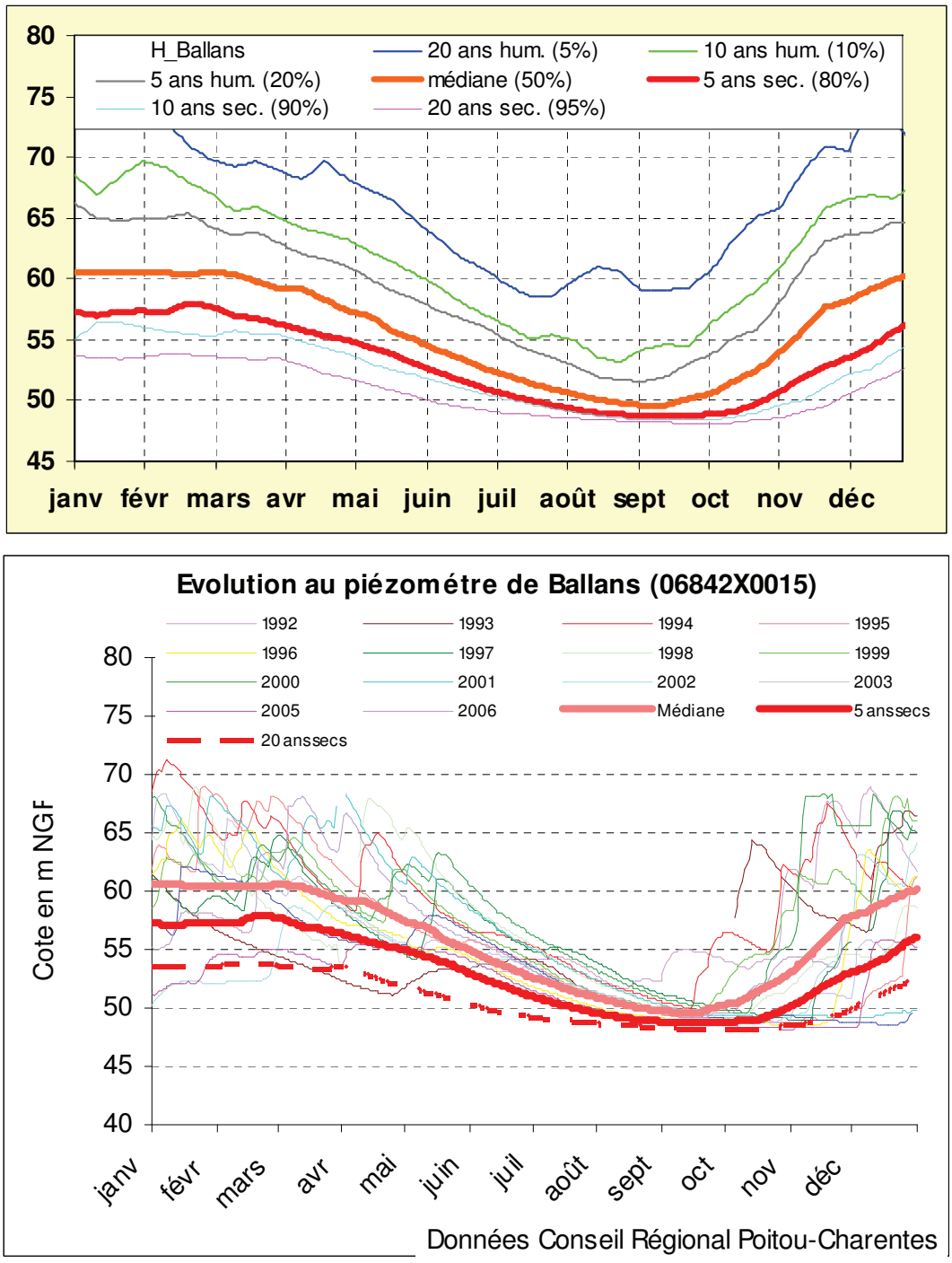


Illustration 111 : Utilisation du modèle du piézomètre de Ballans en prévision : en haut courbes non influencé par les pompages (en m NGF) avec période de retour, en bas superposition des courbes médiane et 5 ans secs sur les chroniques.

Piézomètre de Lunesse (07091X0042) Tithonien

Ce puits de 4 m de profondeur dans le Tithonien est situé en bordure de la Nouère.

Le modèle souligne l'existence d'un seuil de débordement à 43,5 m NGF et un seuil bas à 42,6 m NGF. De toute évidence ces niveaux piézométriques sont contraints par la rivière. De ce fait le battement annuel est très faible, de l'ordre du mètre.

Mais le seuil bas est parfois dépassé par l'impact de pompages certaines années : 1995, 1996, 1998, 2005 (Illustration 112). Les autres années, les pompages peuvent être masqués par les apports de la rivière.

Le modèle ne met en évidence qu'une composante lente avec une mise en charge quasi-immédiate (via le réseau de fractures), un pic de réaction à une pluie efficace autour de 20 j et le passage d'une pluie au bout de 4-5 mois.

En prévision le modèle donne un seuil d'étiage 5 ans secs autour de 42.6 m NGF (Illustration 113). La superposition des courbes théoriques sur les chroniques annuelles souligne l'existence d'un léger décalage à la fin du printemps interprété comme un soutien de la nappe par la rivière. Le niveau de la nappe est en effet maintenu autour de 42,8-43 m NGF alors que le modèle donne, en l'absence de pluie efficace à cette époque de l'année, des niveaux légèrement plus bas. Ce type de comportement est rencontré sur un grand nombre de piézomètres à la nappe du Jurassique supérieur situés en zone aval, près d'un cours d'eau. Lorsque la rivière ne permet plus de soutenir la nappe (débit insuffisant, cours d'eau à sec), le niveau de la nappe s'effondre sous l'effet des pompages.

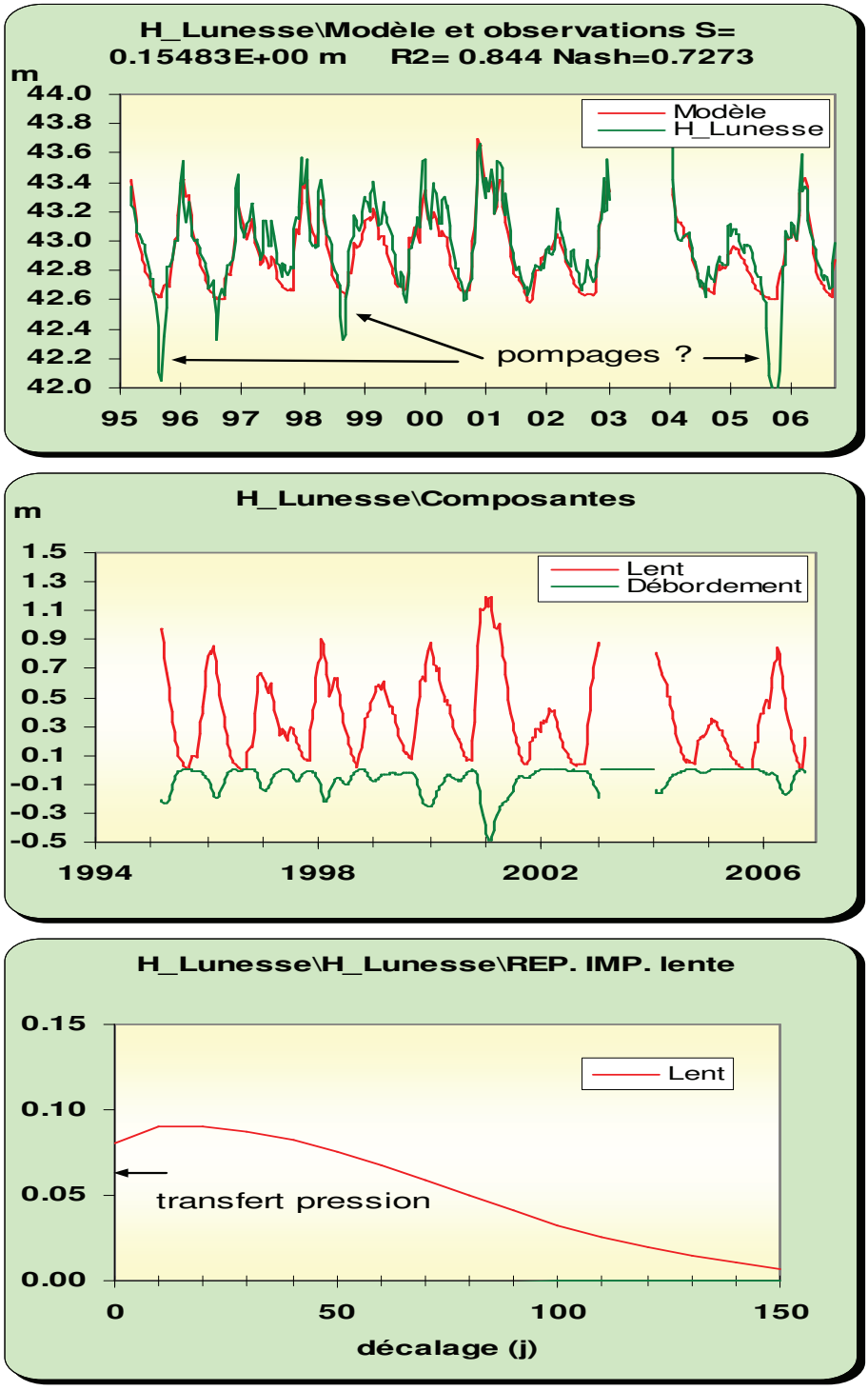
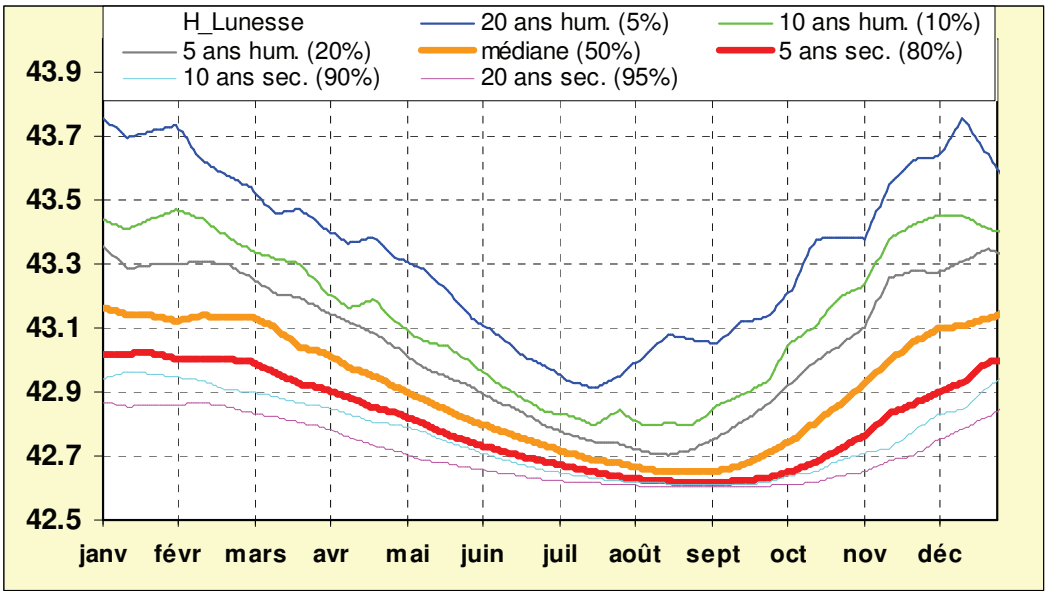


Illustration 112 : Modélisation du piézomètre de Lunesse (Jurassique supérieur), de haut en bas : superposition du modèle sur la chronique, les différentes composantes, analyse impulsionnelle de la composante lente.



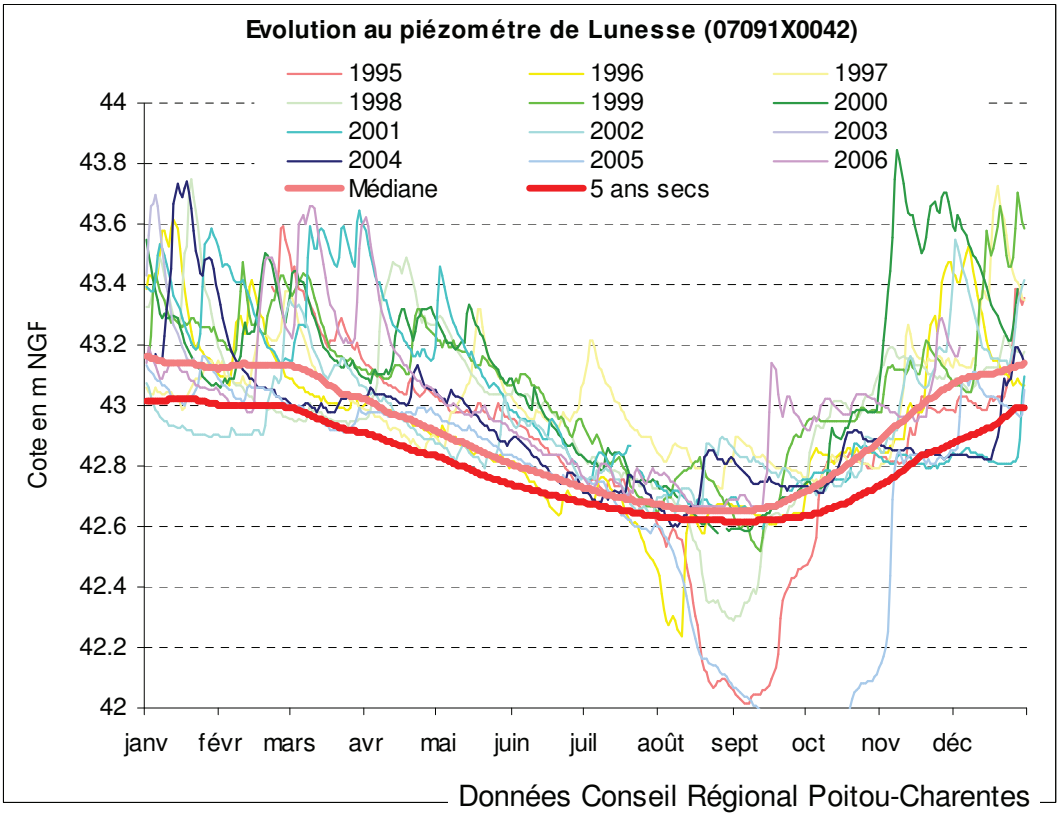


Illustration 113 : Utilisation du modèle du piézomètre de Lunesse en prévision : <u>en haut</u> courbes non influencé par les pompages (en m NGF) avec période de retour, <u>en bas</u> superposition des courbes médiane et 5 ans secs sur les chroniques.

Piézomètre de Dignac (07097X0067) Turonien

Ce piézomètre est situé en tête du bassin versant de la Charreau, dans le secteur où la nappe du Turonien est libre à semi-captive. Avec 120 m de profondeur, il capte l'aquifère du Turonien dont la piézométrie montre un drainage par la Charreau.

La modélisation de la chronique fait apparaître 4 composantes :

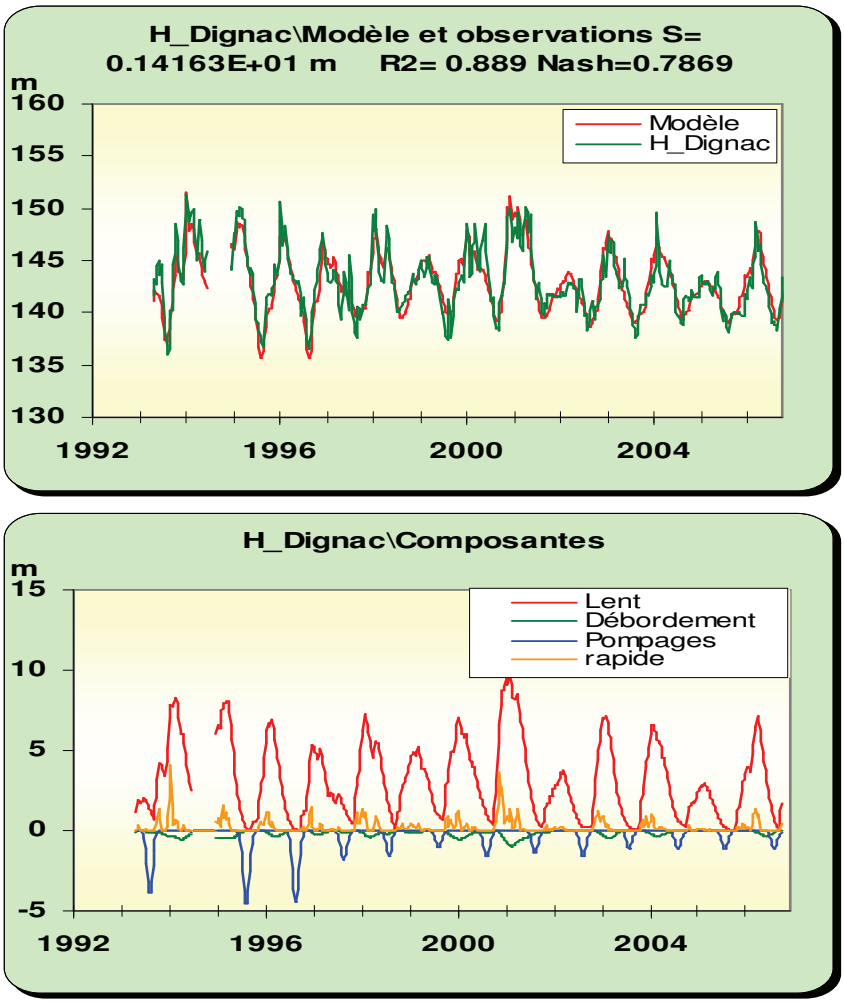
- une composante lente avec un pic « impulsionnel » à 20 j. Le piézomètre est toutefois en charge très rapidement après une pluie efficace. En surface on trouve en effet les marnes du Santonien ce qui pourrait expliquer une mise en charge rapide via le réseau de fractures.

- une composante rapide mais très minoritaire,

- des débordements avec écrêtement de la nappe à partir de 149 m NGF, ce qui est proche de la surface du sol au niveau de l'ouvrage,

- un impact non négligeable de pompages mais qui tend à diminuer au cours du temps (surtout depuis 1997).

Le niveau d'étiage 5 ans secs est situé autour de 140 m NGF.



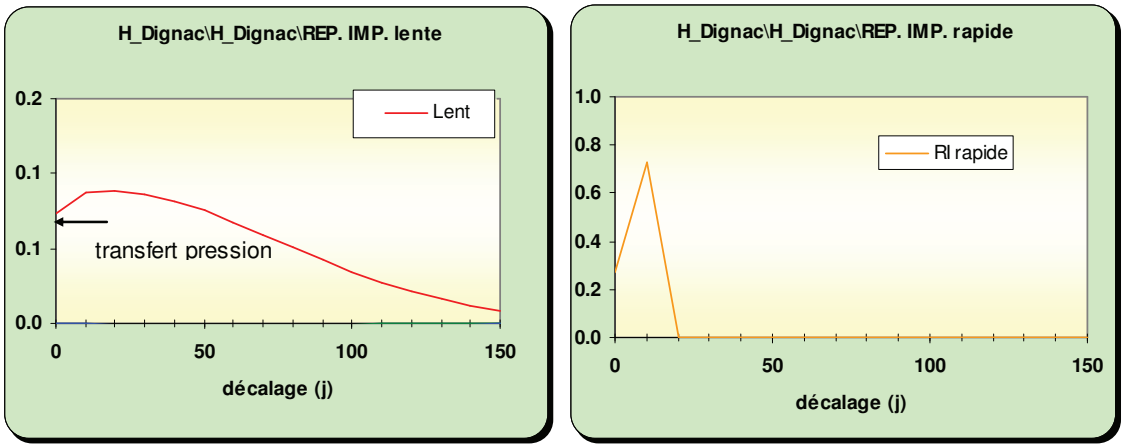
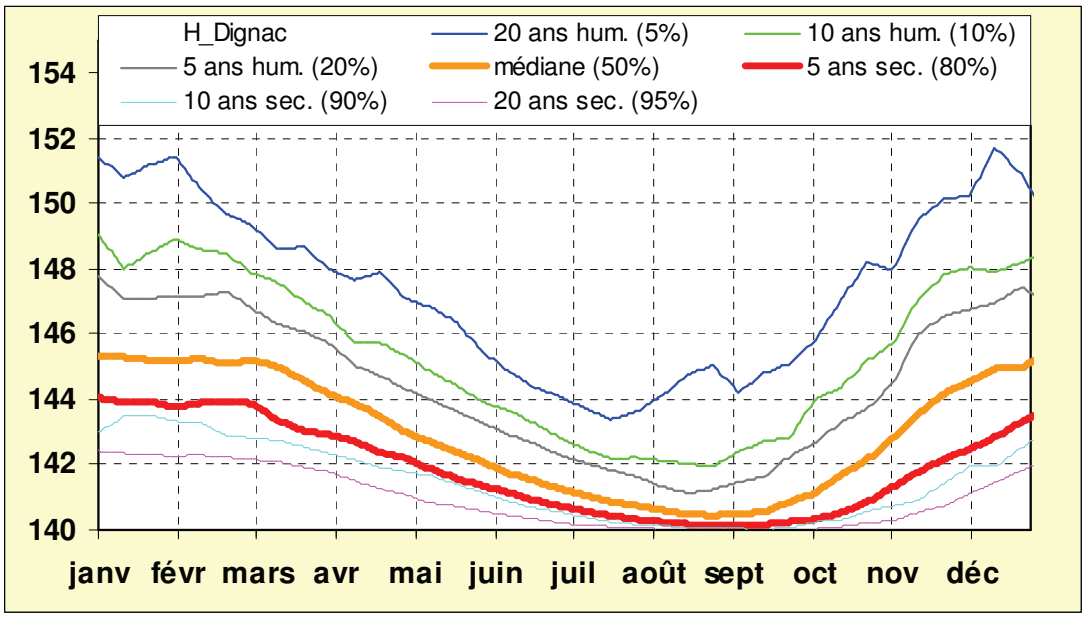


Illustration 114 : Modélisation du piézomètre de Dignac (Turonien), de haut en bas : superposition du modèle sur la chronique, les différentes composantes, analyse impulsionnelle des composantes lente et rapide.



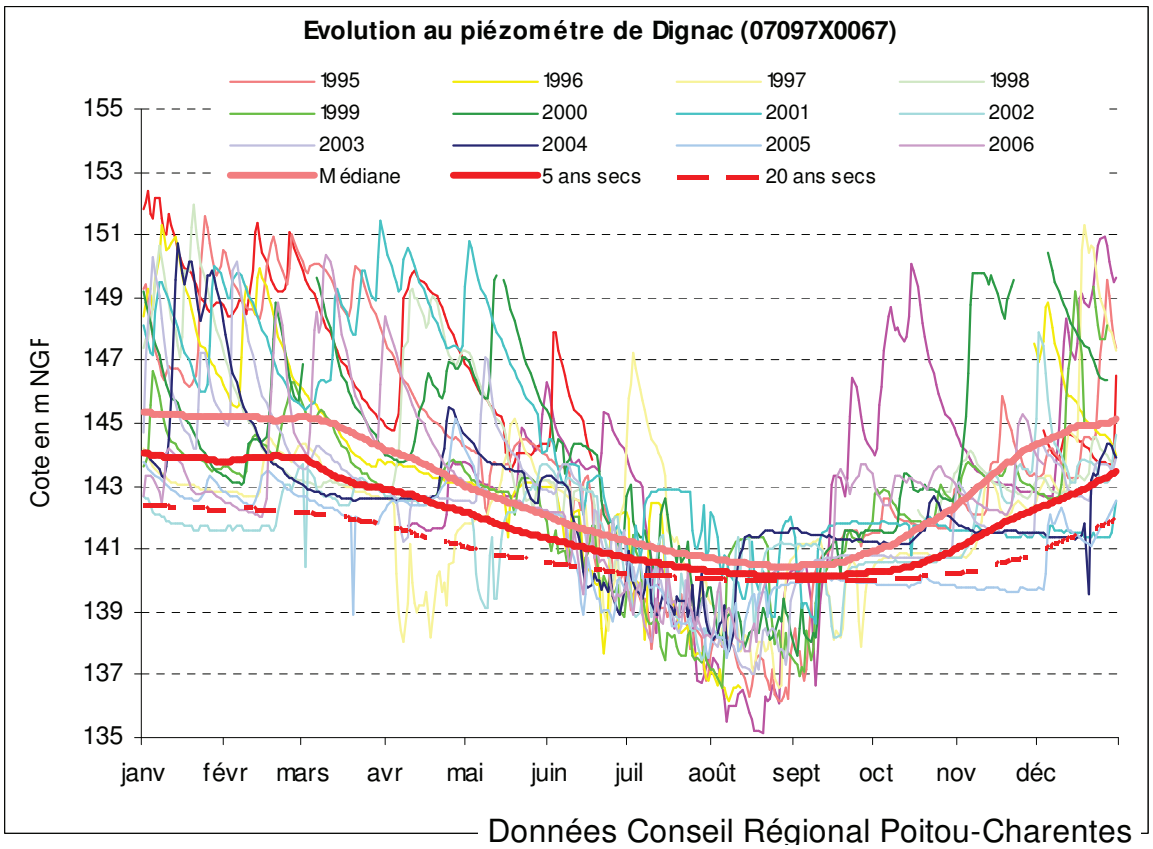


Illustration 115 : Utilisation du modèle du piézomètre de Dignac en prévision : <u>en haut</u> courbes non influencé par les pompages (en m NGF) avec période de retour, <u>en bas</u> superposition des courbes médiane et 5 ans secs sur les chroniques.

Piézomètre de Torsac (07097X0057) Turonien

Le piézomètre de Torsac est situé dans la vallée de La Charreau à l'aval du piézomètre précédent de Dignac, dans une zone où la nappe du Turonien est libre. Il fait 49 m de profondeur.

Les piézométries indiquent un fort drainage de cette nappe du Turonien par La Charreau.

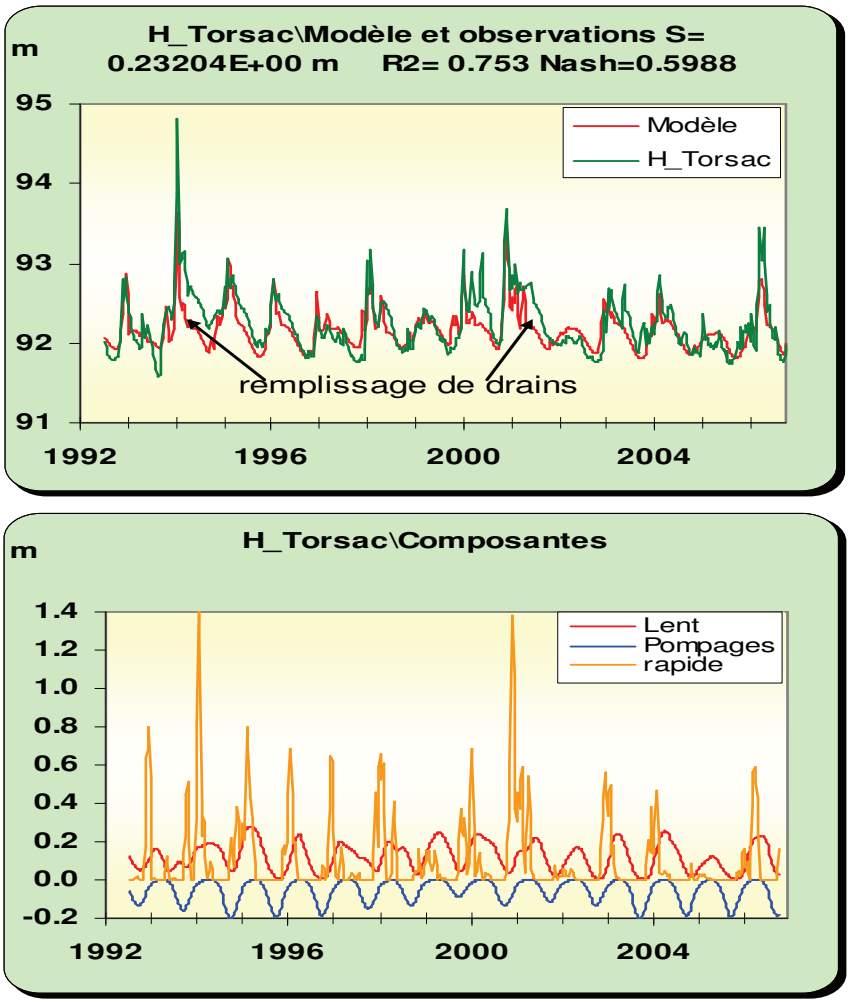
Le calage du modèle n'a pas été facile. En très hautes eaux (il n'y a pas de débordement), le système aquifère semble stocker provisoirement de l'eau (peut être dans des drains superficiels qui restent habituellement vides), ce qui permet de soutenir la nappe dans la période de vidange suivant la période humide (Illustration 116).

La composante rapide, majoritaire en hautes eaux, met en évidence la mise en charge de drains et le transfert de pression. La composante lente, primordiale en été, révèle une recharge à travers la matrice. Cette composante présente une inertie assez élevée, avec un maximum d'impact d'une pluie efficace au bout de 3 à 4 mois.

L'impact des pompages reste modéré. La piézométrie enregistre l'effet des prélèvements sur le bassin versant à l'amont de la station piézométrique.

En dehors des très hautes eaux, le battement de la nappe reste faible, de l'ordre du mètre. La chronique semble contrainte par un niveau bas situé entre 91 et 92 m NGF, ce qui correspond à peu prés à la cote de l'étang de la source de Pont-Roi situé plus à l'aval du piézomètre. Ce plan d'eau contrôlerait le niveau d'étiage du piézomètre.

Les courbes théoriques restituées par le modèle utilisé en prévision sont assez serrées en années sèches (Illustration 117). Le niveau d'étiage est alors autour de 91.8 m NGF, et serait, comme nous l'avons vu, contrôlé par la source de Pont-Roi. Compte tenu des difficultés de calage, le modèle reste toutefois à considérer avec prudence.



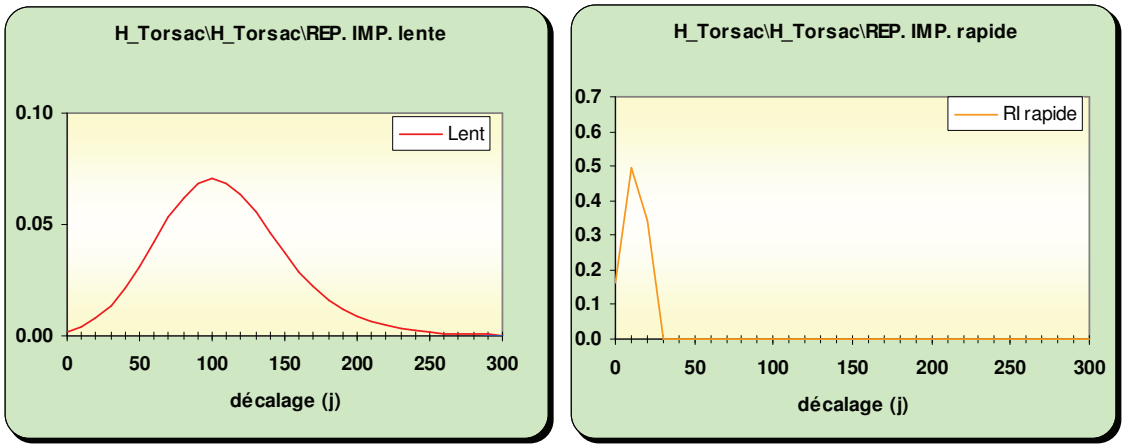


Illustration 116 : Modélisation du piézomètre de Torsac (Turonien), de haut en bas : superposition du modèle sur la chronique, les différentes composantes, analyse impulsionnelle des composantes lente et rapide.

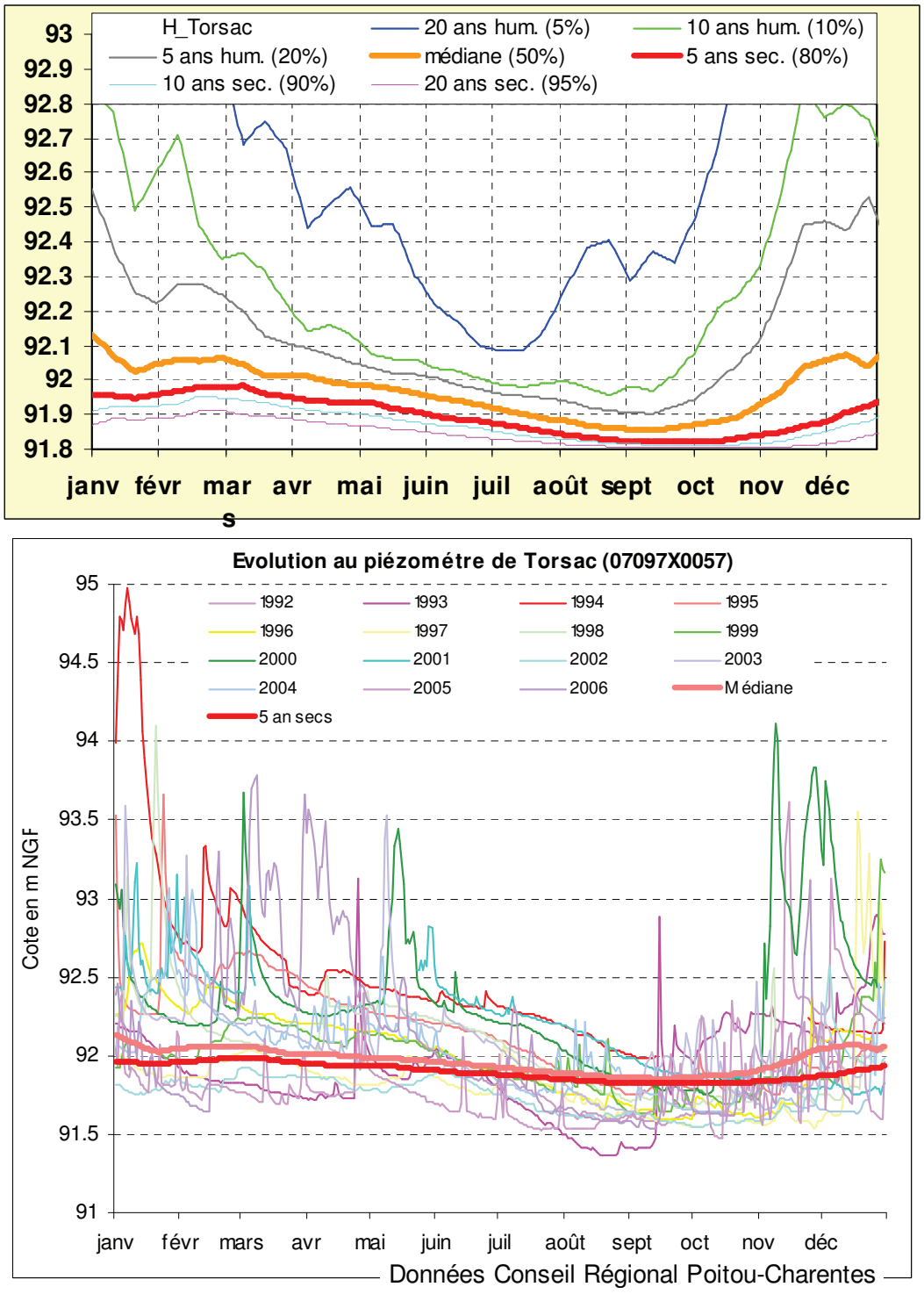


Illustration 117 : Utilisation du modèle du piézomètre de Torsac en prévision : en haut courbes non influencé par les pompages (en m NGF) avec période de retour, en bas superposition des courbes médiane et 5 ans secs sur les chroniques.

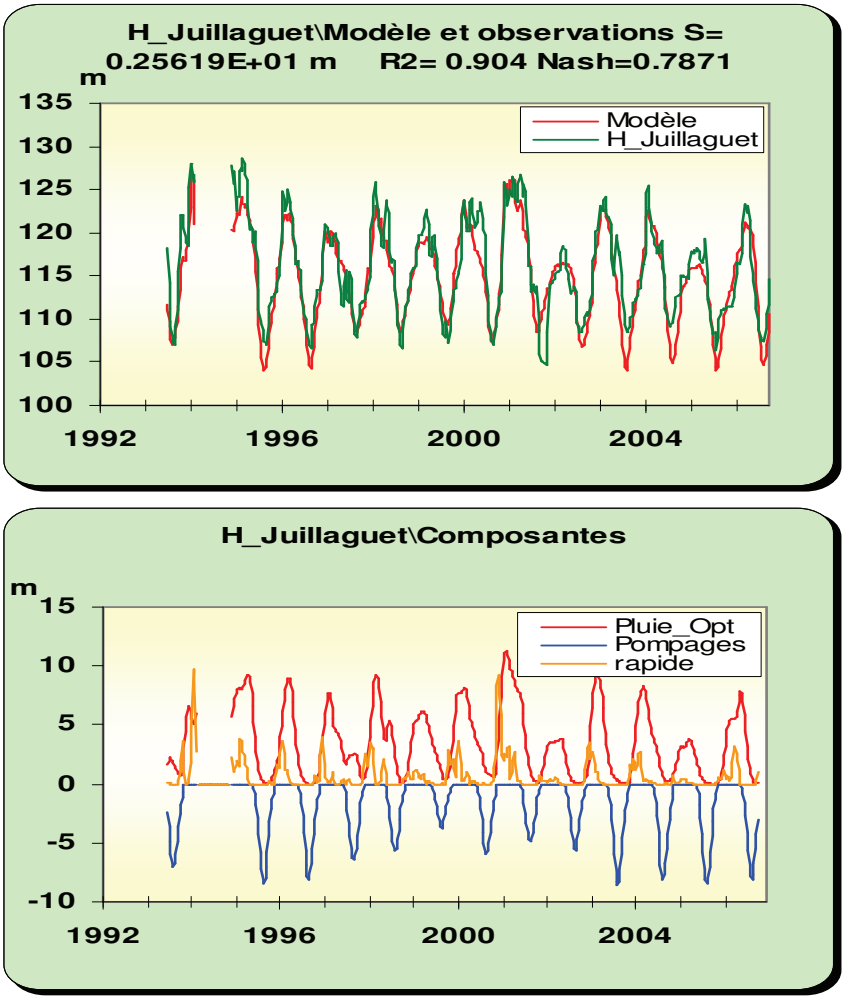
Piézomètre de Juillaguet (07333X0027) Turonien

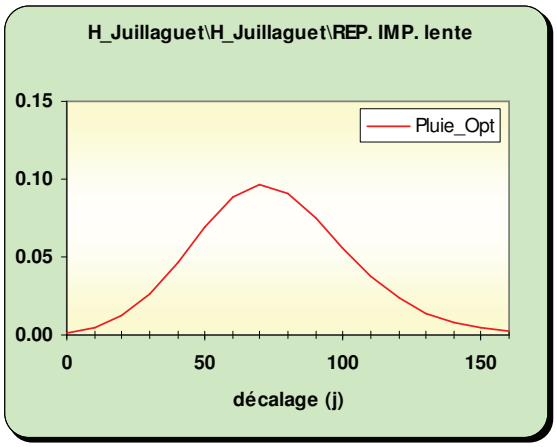
Ce piézomètre est situé sur la crête topographique entre les bassins versant du Né et de la Tude. Avec une profondeur de 155 m il capte la nappe du Turonien-Coniacien sous un recouvrement calcaréo-marneux de Santonien. Dans ce secteur, la direction des écoulements souterrains est incertaine entre bassins du Né et de la Tude.

Sur les chroniques de mesures de ce piézomètre l'impact des pompages est important, responsable de prés de la moitié du battement annuel. Ces pompages auraient été réduits à partir de 2002 (le modèle descend plus bas que la chronique pour les années récentes). On constate un phénomène assez similaire plus au Nord, sur le piézomètre de Dignac, avec une réduction apparente des prélèvements saisonniers (agricoles) depuis 1997.

La modélisation fait apparaître une composante lente, très majoritaire, et une composante rapide à l'incidence assez faible. La composante lente présente un pic « impulsionnel » au bout de plus de 2 mois et l'effacement d'une pluie efficace au bout de 5 mois (Illustration 118).

En prévision, le niveau d'étiage en année sèche (périodicité de retour 5 ans) correspond à la cote 112.5 m NGF (Illustration 119).





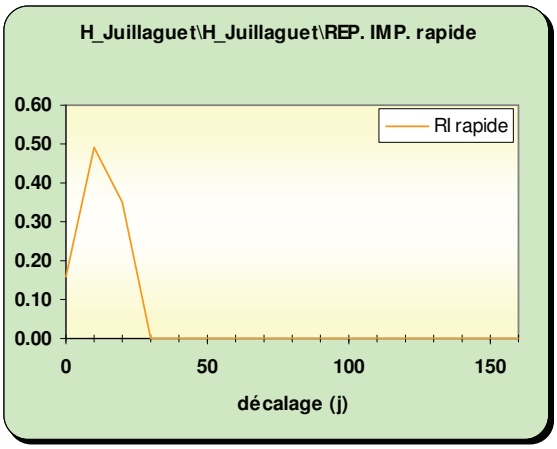
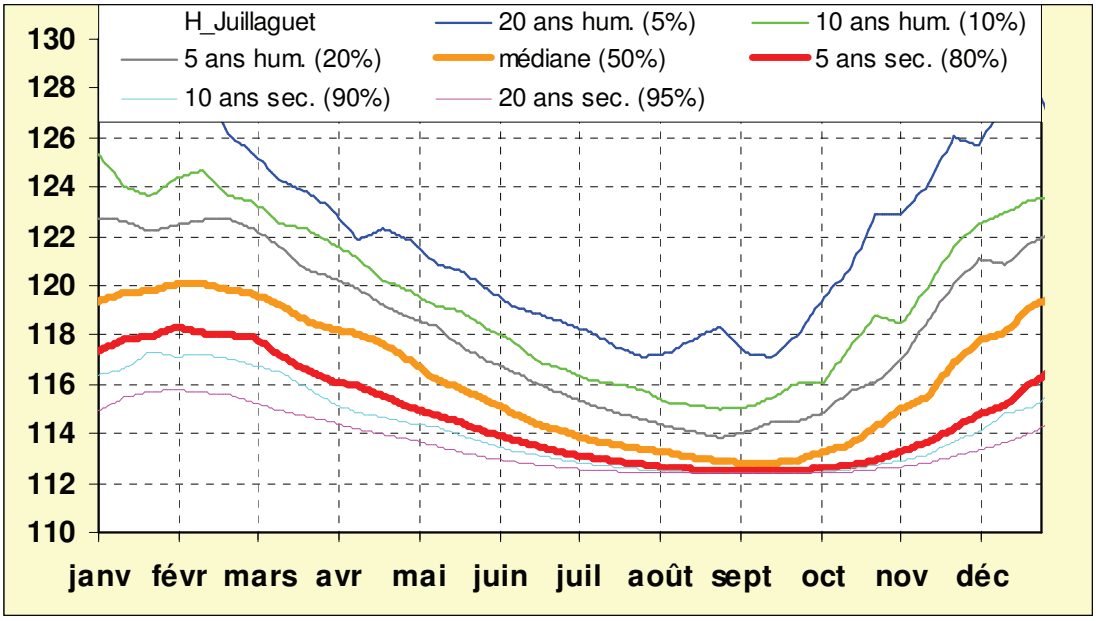


Illustration 118 : Modélisation du piézomètre de Juillaguet (Turonien), de haut en bas : superposition du modèle sur la chronique, les différentes composantes, analyse impulsionnelle des composantes lente et rapide.



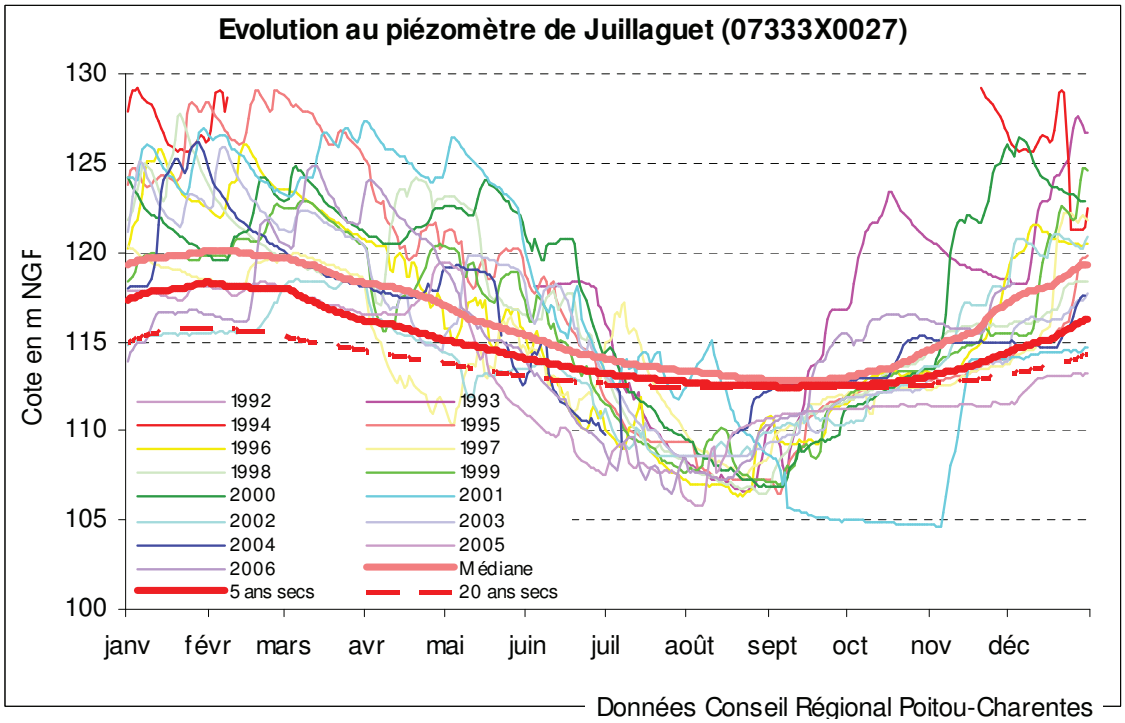


Illustration 119 : Utilisation du modèle du piézomètre de Juillaguet en prévision : en haut courbes non influencé par les pompages (en m NGF) avec période de retour, en bas superposition des courbes médiane, 5 et 10 ans secs sur les chroniques.

Piézomètre de Rouffiac (07332X0530) Turonien

Le piézomètre de Rouffiac est situé sur la crête piézométrique entre le bassin versant du Né et celui du Claix/Boême. Avec 107 m de profondeur, il capte la nappe du Turonien captive sous les marnes du Santonien.

Contrairement aux piézomètres de Juillaguet, dans le même contexte mais plus à l'Est, de Dignac et de Torsac situés dans des zones où le Turonien est libre, le piézomètre de Rouffiac est peu impacté par les pompages.

Le calage du modèle est satisfaisant. Sur la chronique comme sur le modèle, les années 2002 et 2005, avec une très faible recharge hivernale, se singularisent beaucoup plus nettement que pour les autres piézomètres.

Mis à part les débordements (d'amplitude faible), le modèle ne fait apparaître qu'une composante lente, ce qui est tout à fait cohérent avec un aquifère captif relativement profond. Cette composante présente un maximum d'impact d'une pluie efficace 2 mois après l'impulsion pluie et la disparition complète de l'impact au bout d'environ 10 mois (Illustration 120).

En prévision, le modèle donne une cote d'étiage 5 ans secs à 86 m NGF. La superposition des courbes théoriques sur les chroniques de mesures (Illustration 121) montre que les années de recharge hivernale faible, comme 2002 et 2005, les niveaux d'étiage avoisinent ceux de la courbe 20 ans secs. La nappe relativement profonde du Turonien se recharge donc difficilement et possède une certaine inertie.

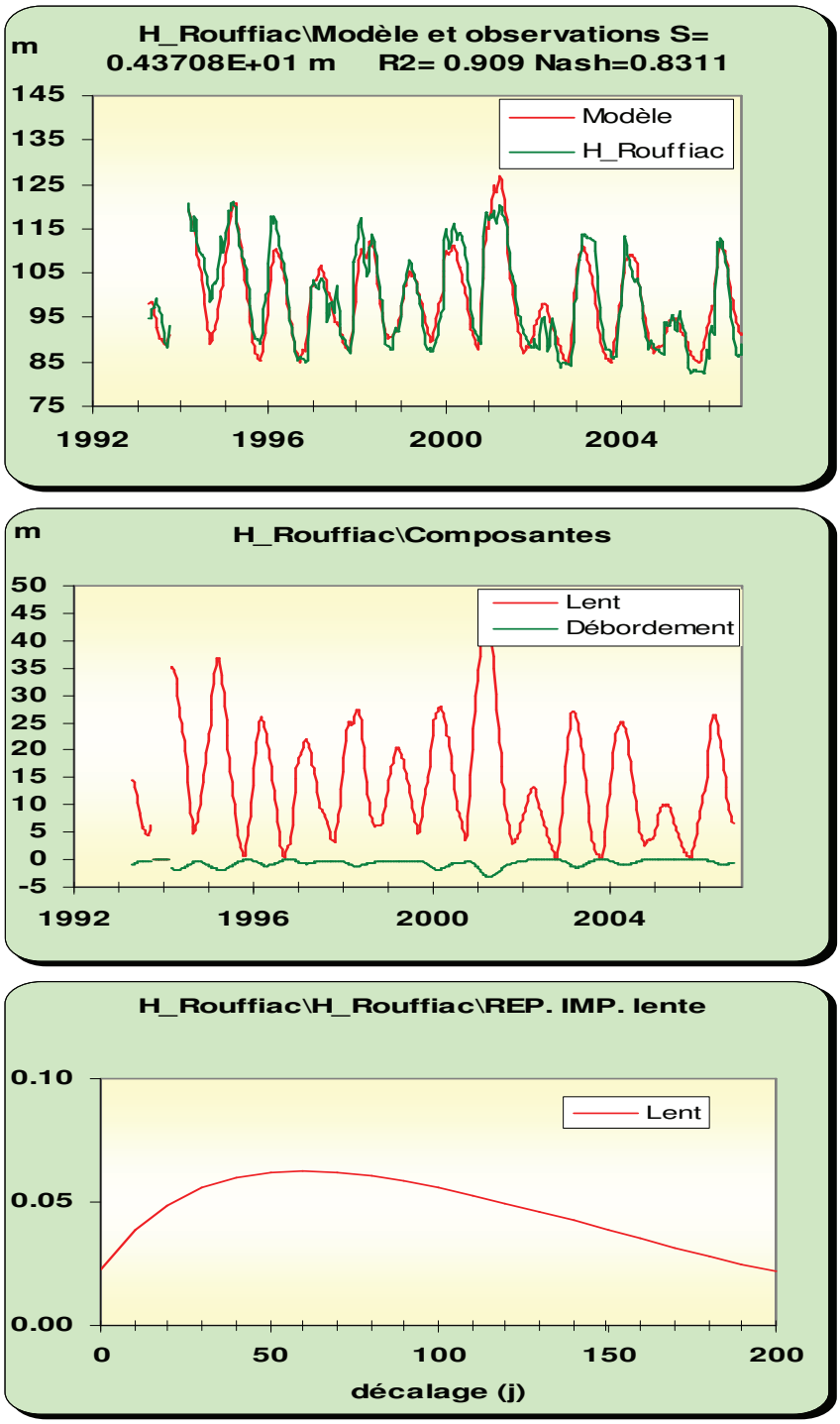


Illustration 120 : Modélisation du piézomètre de Rouffiac (Turonien), de haut en bas : superposition du modèle sur la chronique, les différentes composantes, analyse impulsionnelle de la composante lente.

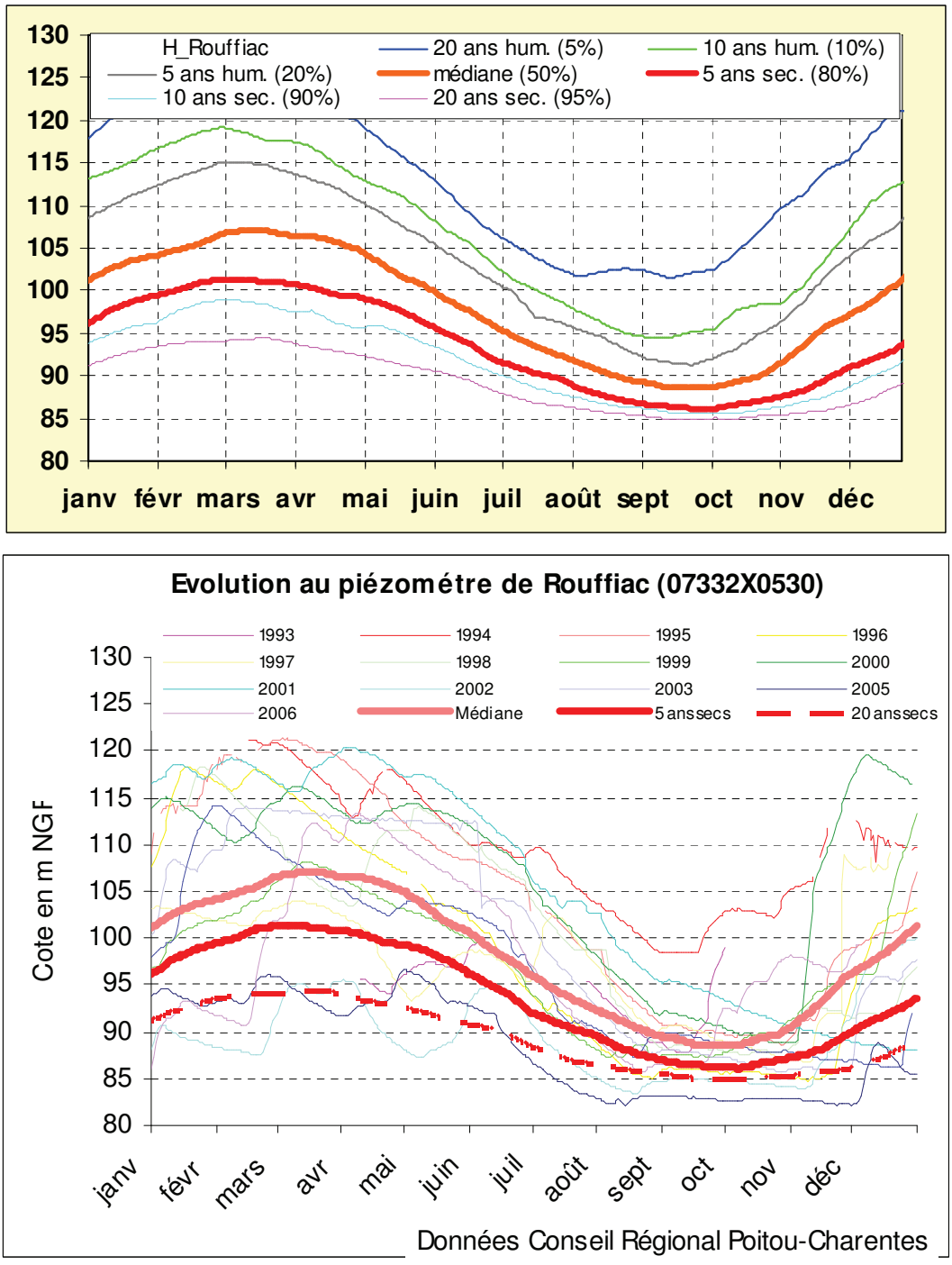


Illustration 121 : Utilisation du modèle du piézomètre de Rouffiac en prévision : <u>en haut</u> courbes non influencé par les pompages (en m NGF) avec période de retour, <u>en bas</u> superposition des courbes médiane et 5 ans secs sur les chroniques.

Piézomètre de Salignac (07074X0014) Turonien

Ce piézomètre est situé à l'aval du bassin du Né. Avec 140 m de profondeur, il capte la nappe du Turonien captive.

Le calage du modèle est très satisfaisant (R2 = 0.92). A l'étiage, le décalage variable en fonction des années entre le modèle et la chronique s'explique vraisemblablement par un ajustement moyen de l'impact des pompages. L'analyse des composantes montre que ces pompages ont un impact modéré.

La composante rapide est nettement majoritaire en hautes eaux. Cette composante correspondrait à la mise en charge du réseau de fractures de la couverture calcaréo-marneuse du réservoir turonien (cf. aussi rapport BRGM RP53767FR). En revanche, en basses eaux c'est la composante lente qui domine.

Cette composante lente montre une réaction maximale au bout de 50 jours et la disparition de l'impact d'une pluie efficace au bout d'environ 6 mois.

En prévision le modèle restitue des courbes années sèches relativement resserrées avec un niveau d'étiage de 3.5 m NGF. La superposition des courbes théoriques sur les chroniques souligne l'impact des pompages responsables d'un rabattement supplémentaire de l'ordre de 50 cm.

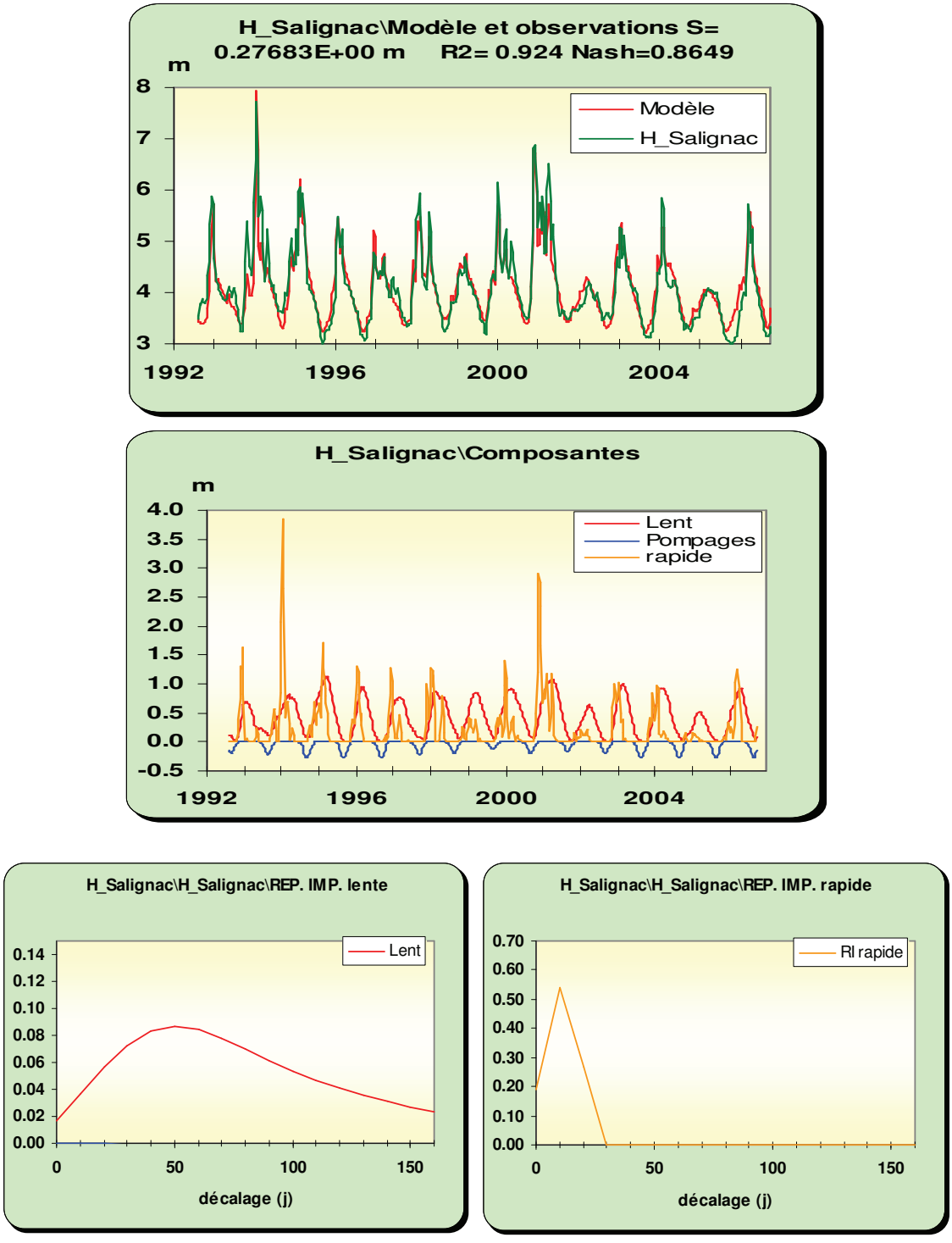
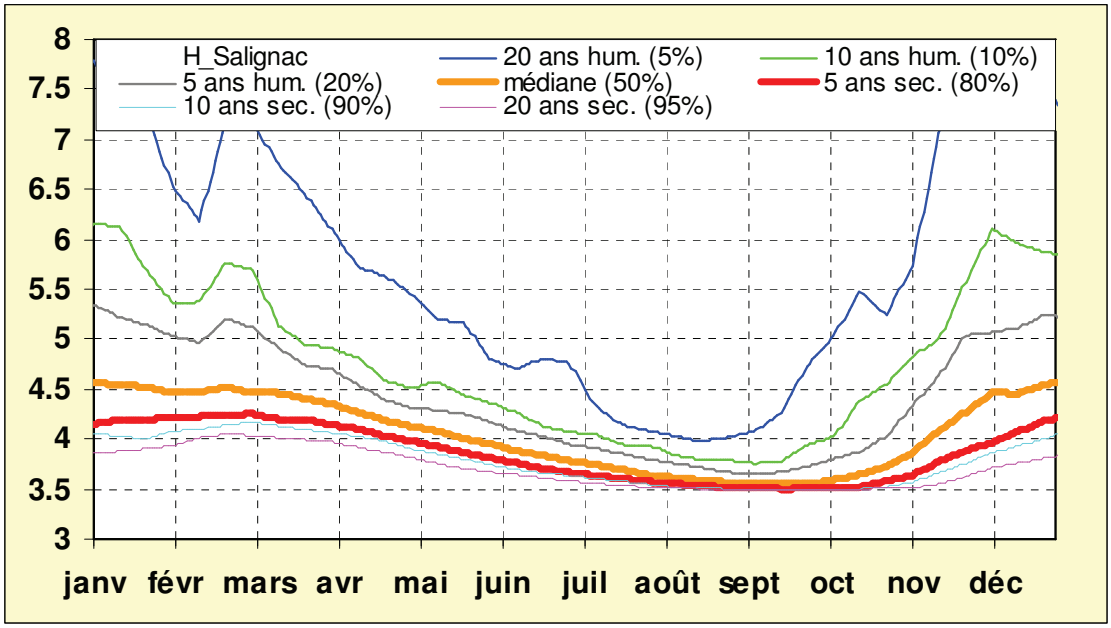


Illustration 122 : Modélisation du piézomètre de Salignac (Turonien), de haut en bas : superposition du modèle sur la chronique, les différentes composantes, analyse impulsionnelle des composantes.



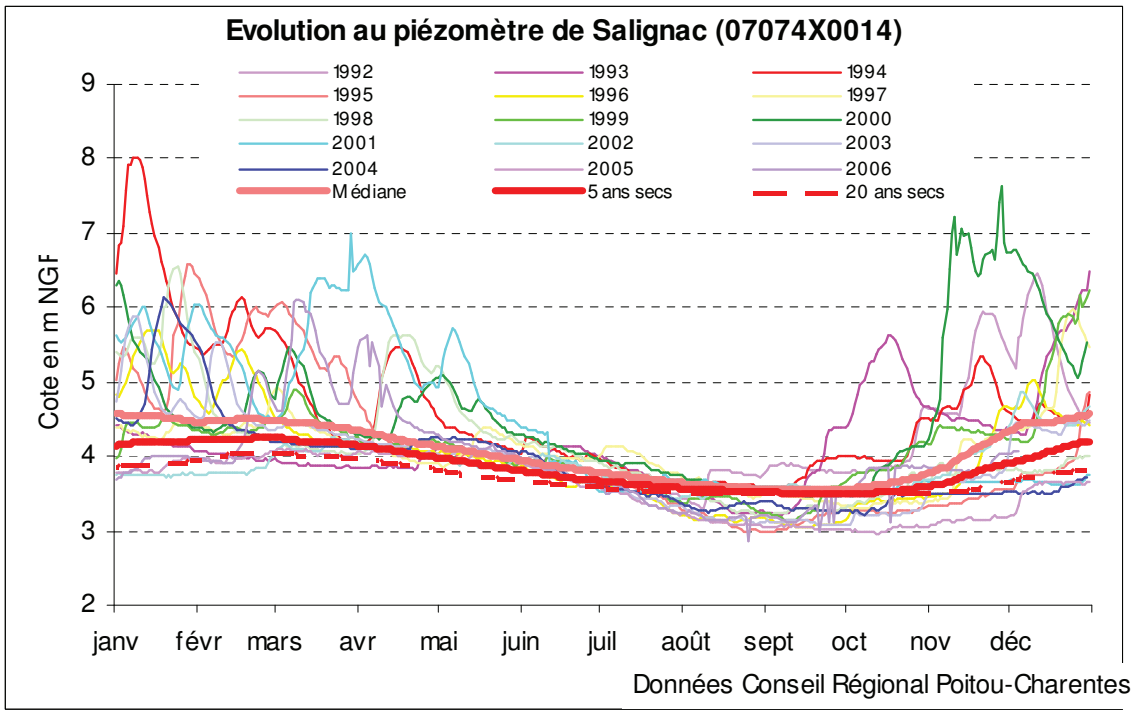


Illustration 123 : Utilisation du modèle du piézomètre de Salignac en prévision : <u>en haut</u> courbes non influencé par les pompages (en m NGF) avec période de retour, <u>en bas</u> superposition des courbes médiane et 5 ans secs sur les chroniques.

Piézomètre de St-Césaire (06837X0017) Cénomanien

Ce piézomètre est localisé dans le bassin versant du Coran, affluent en rive droite de la Charente. Ce bassin versant où affleurent les formations du Coniacien et du Santonien, est court avec des pentes relativement importantes. Avec 99 m de profondeur, le forage capte la nappe du Cénomanien captive sous plusieurs niveaux marneux.

Le piézomètre est très impacté par les pompages comme le souligne le modèle (Illustration 124). Ces pompages constituent plus de la moitié du battement annuel.

Le modèle ne fait apparaître qu'une composante lente avec une réaction maximale à une pluie efficace au bout d'environ 2 à 3 mois et le passage total de cette pluie en 10 mois environ.

Ces résultats (impact important des pompages, composante lente) sont cohérents avec un réservoir cénomanien captif, à lithologie principalement calcaréo-gréseuse. Par ailleurs, le modèle ne souligne l'existence d'aucun débordement ni seuil bas.

En prévision (Illustration 125), le modèle donne un niveau d'étiage de l'ordre de 28 m NGF pour 5 ans secs. La superposition des courbes théoriques non influencées par les pompages sur les chroniques annuelles souligne l'impact des prélèvements qui donnent l'impression de s'accroitre dans ce secteur à contrario de ce que l'on peut constater sur la plupart des autres piézomètres.

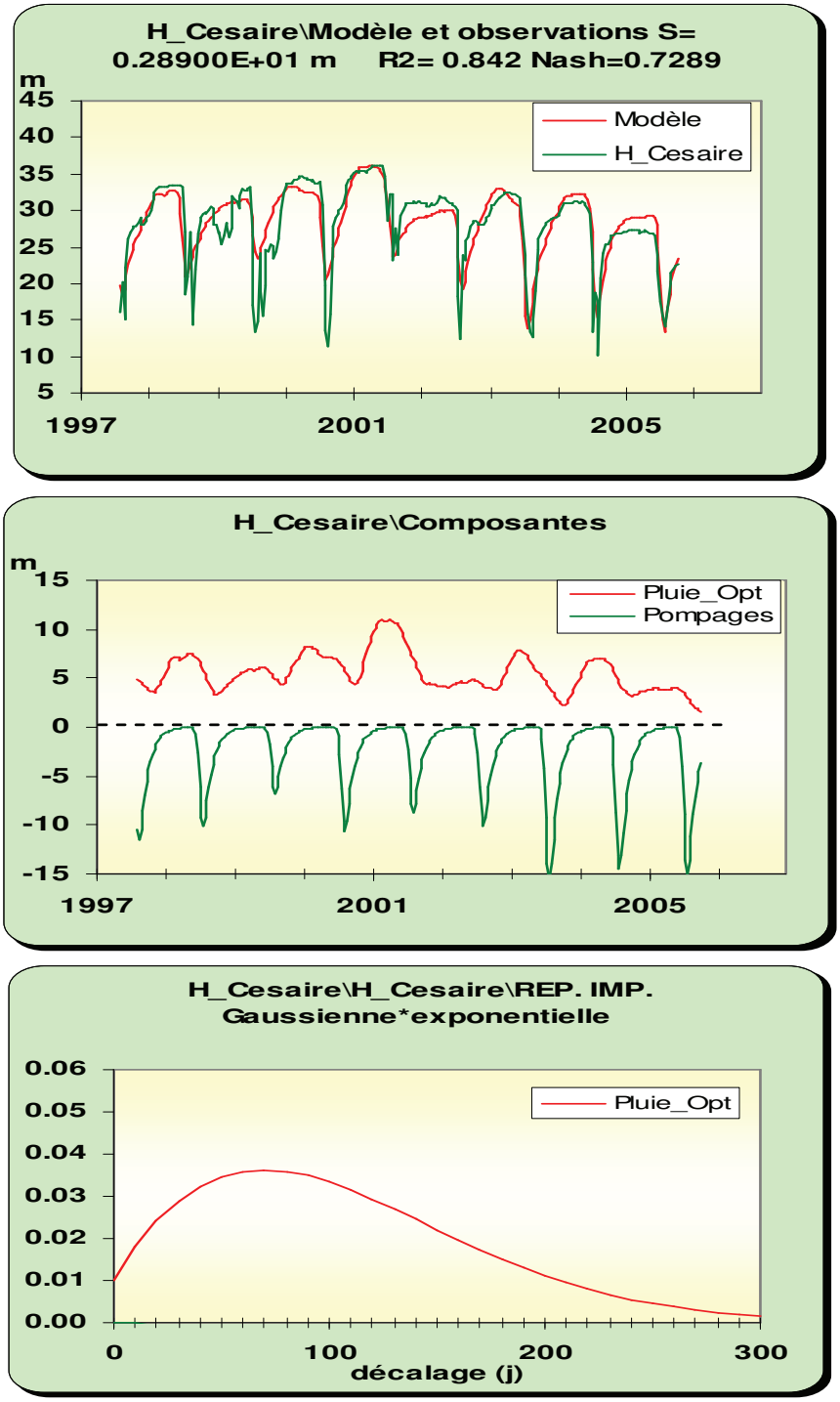
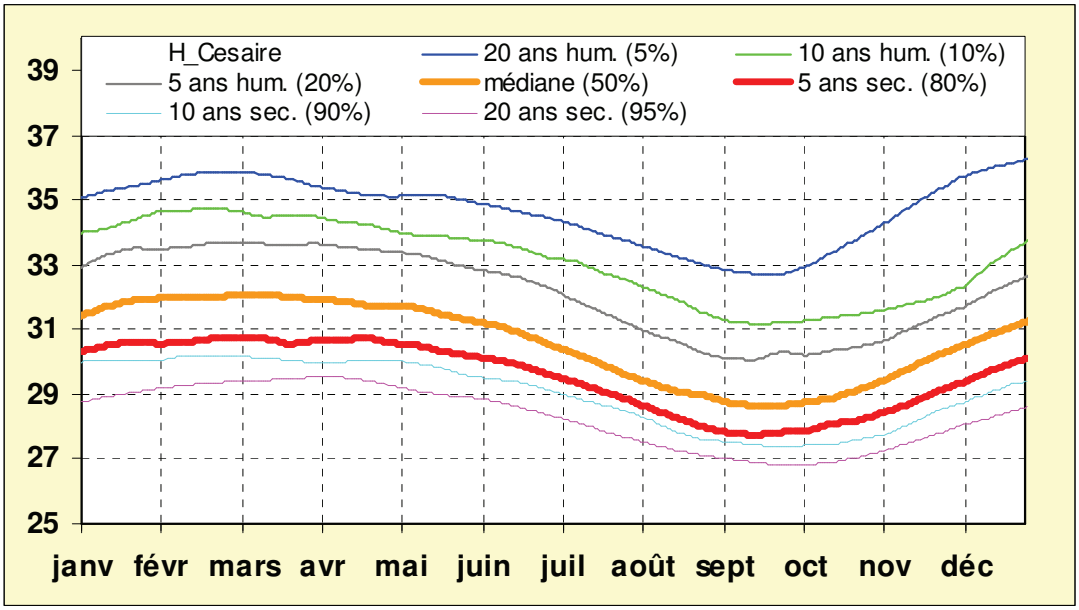


Illustration 124 : Modélisation du piézomètre de St-Césaire (Cénomanien), de haut en bas : superposition du modèle sur la chronique, les différentes composantes, analyse impulsionnelle de la composante lente.



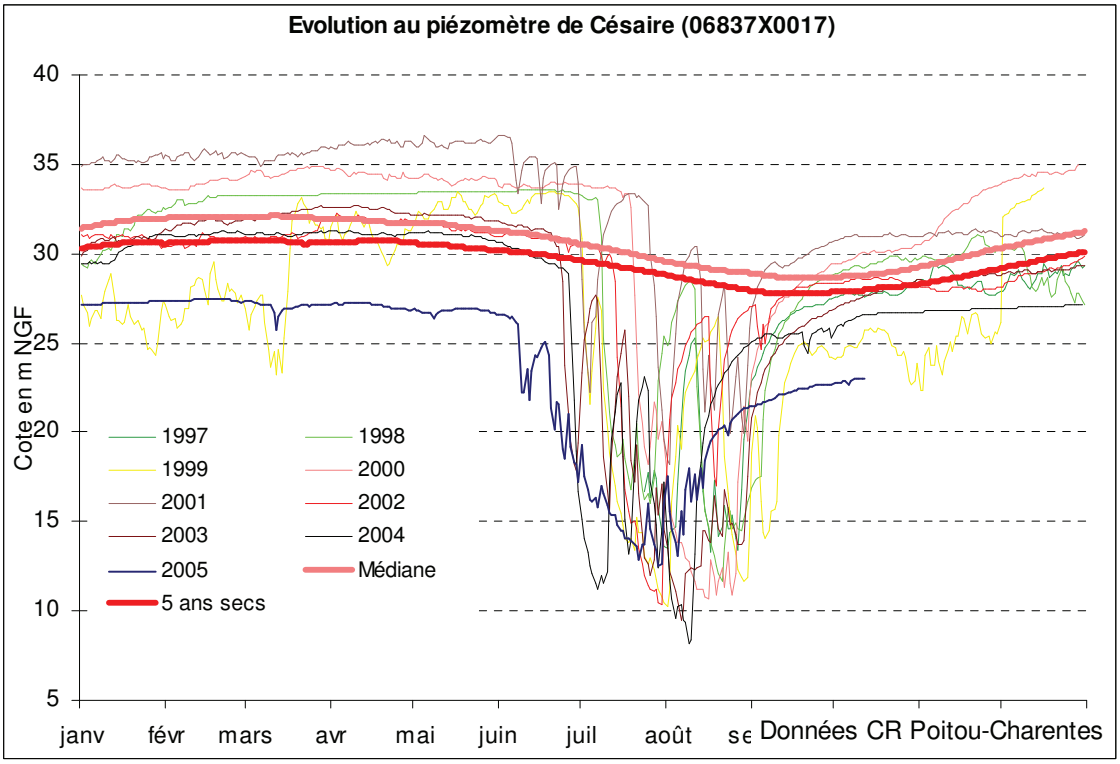


Illustration 125 : Utilisation du modèle du piézomètre de St-Césaire en prévision : en haut courbes non influencé par les pompages (en m NGF) avec période de retour, en bas superposition des courbes médiane et 5 ans secs sur les chroniques.

Piézomètre de Baignes (07326X0028) Turonien

Ce piézomètre est à l'amont du bassin versant de la Seugne. Avec 468 m de profondeur il capte la nappe profonde captive du Turonien sous une épaisse couverture marno-calcaire débutant en surface au Campanien.

Le calage du modèle est assez moyen et souligne l'existence de débordement en hautes eaux à la cote 46 m NGF. Il n'existe qu'une composante lente avec une inertie assez forte pour le contexte régional : maximum d'impact d'une pluie efficace sur le niveau piézométrique au bout de 3 à 4 mois et passage complet d'une impulsion pluie au bout de plus de 1 an et demi.

On peut remarquer aussi sur la chronique l'impact de pompages à partir de l'année 2004. Précisons que la modélisation a été réalisée sans introduire de fonction pompage.

Utilisé en prévision le modèle restitue une cote d'étiage 5 ans secs autour de 40 m NGF.

D'une manière générale, la qualité de la chronique d'une part, l'impact de pompages certaines années d'autre part conduisent à des résultats très moyens en matière de modélisation.

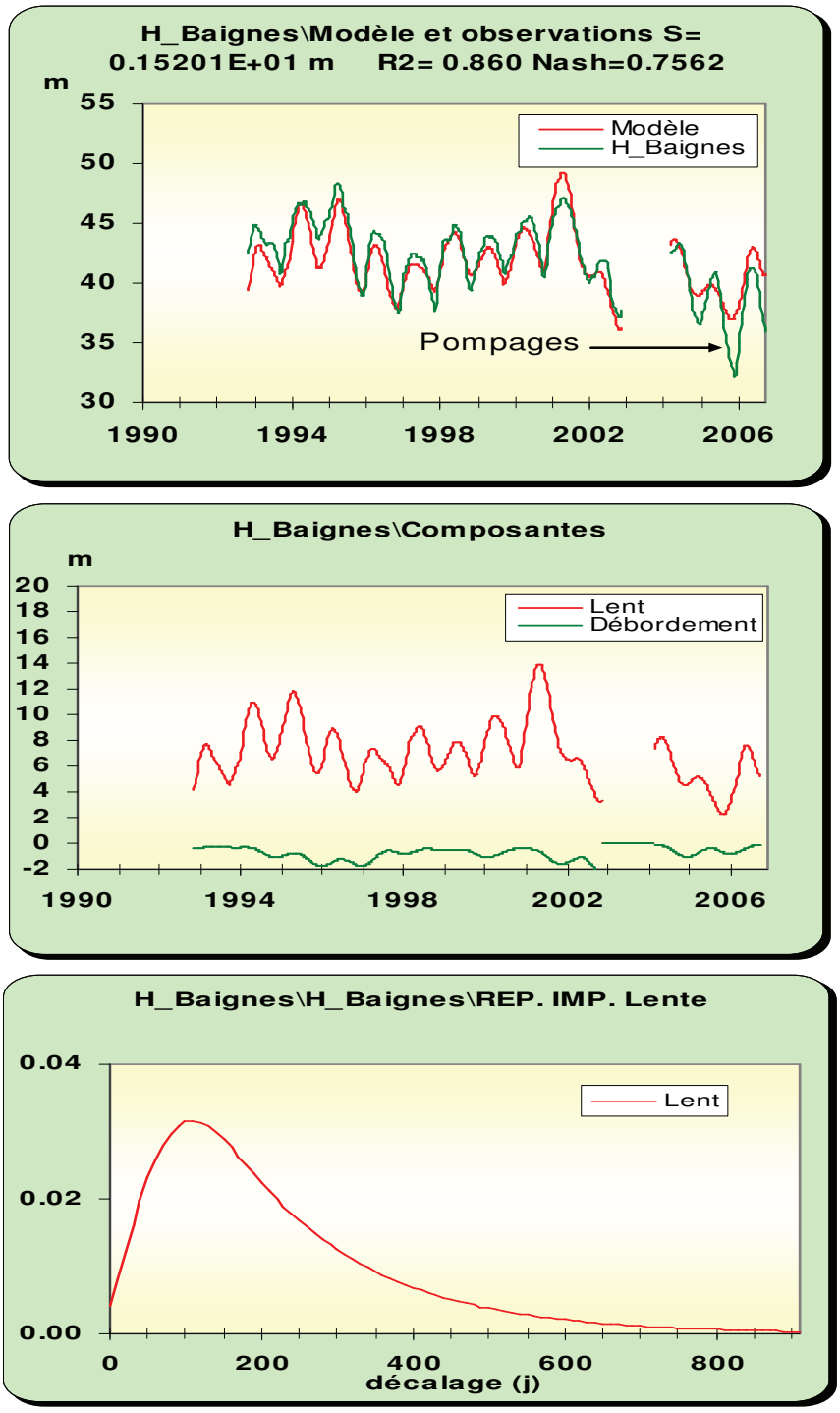
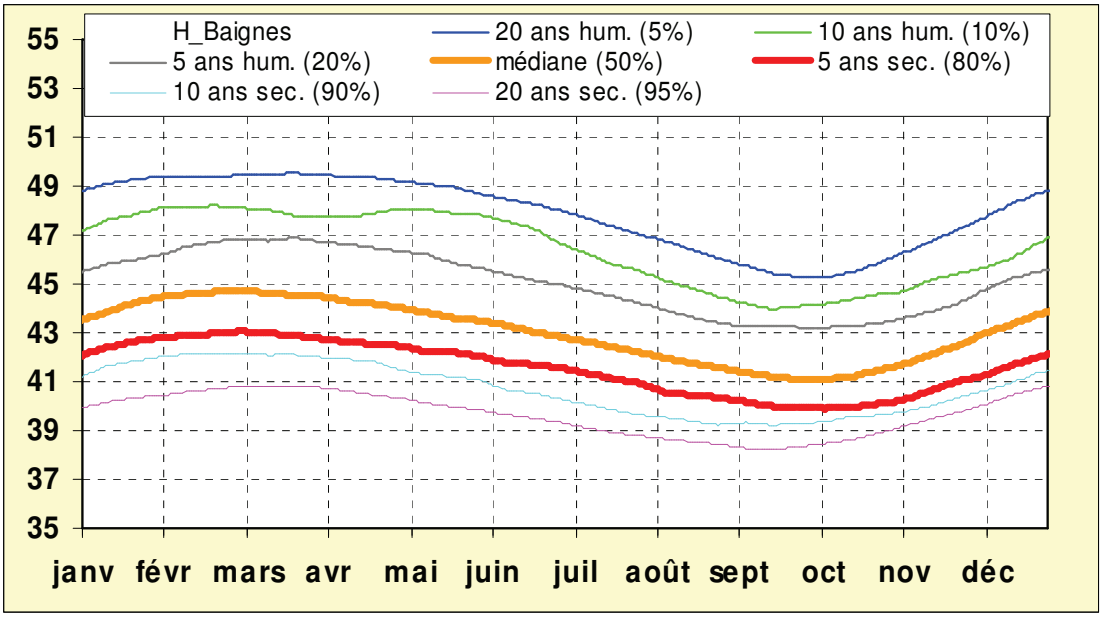


Illustration 126 : Modélisation du piézomètre de Baignes (Turonien), de haut en bas : superposition du modèle sur la chronique, les différentes composantes, analyse impulsionnelle de la composante lente.



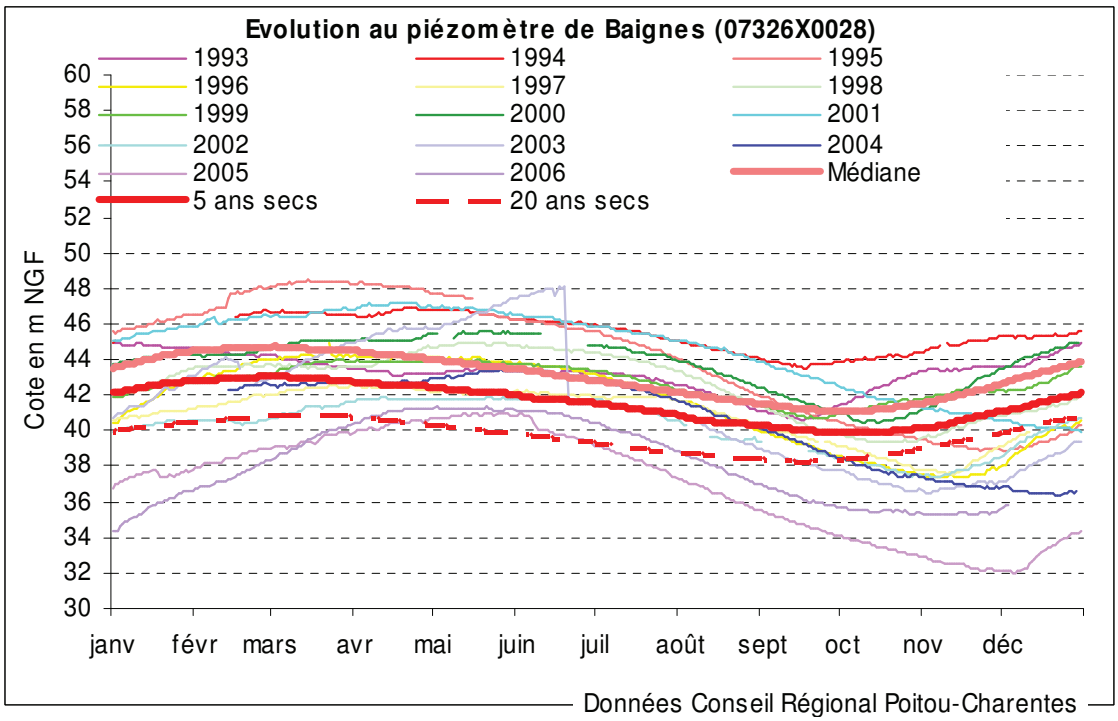


Illustration 127 : Utilisation du modèle du piézomètre de Baignes en prévision : <u>en haut</u> courbes non influencé par les pompages (en m NGF) avec période de retour , <u>en bas</u> superposition des courbes médiane et 5 ans secs sur les chroniques.

Piézomètre de Pommiers (07561X0006) Turonien

Ce piézomètre est situé dans la partie amont du bassin versant de la Seugne, dans un contexte assez similaire au piézomètre précédent de Baignes. Avec une profondeur de 228 m, il capte également la nappe captive du Turonien.

Certaines années, la chronique enregistre un impact important de pompage soit dans l'ouvrage, soit dans sa proximité. Ces pompages faussent le calage et expliquent un R2 inférieur à 0.5.

Il existe un seuil de débordement très net autour de 51 m NGF, ce qui correspond à la cote de la Seugne à proximité (à environ 180 m de l'ouvrage). Il existe aussi un seuil bas autour de 47 m NGF, si l'on fait abstraction des pompages.

Malgré sa profondeur, le niveau piézométrique de ce piézomètre semble en grande partie contrôlé par les eaux de surface. Le battement relativement faible (hors pompages), de quelques mètres, vient corroborer cette hypothèse.

La modélisation restitue une composante lente avec un « pic » au bout de 2-3 mois et un retour à 0 au bout de 10 mois environ.

Globalement le calage du modèle est peu satisfaisant malgré de nombreux essais pour l'améliorer. La superposition des courbes théoriques données par le modèle en prévision avec les chroniques de mesures annuelles montre cette difficulté de reproduire les évolutions piézométriques de ce piézomètre. Le modèle donne une valeur d'étiage « naturel » 5 ans secs de l'ordre de 49.5 m NGF.

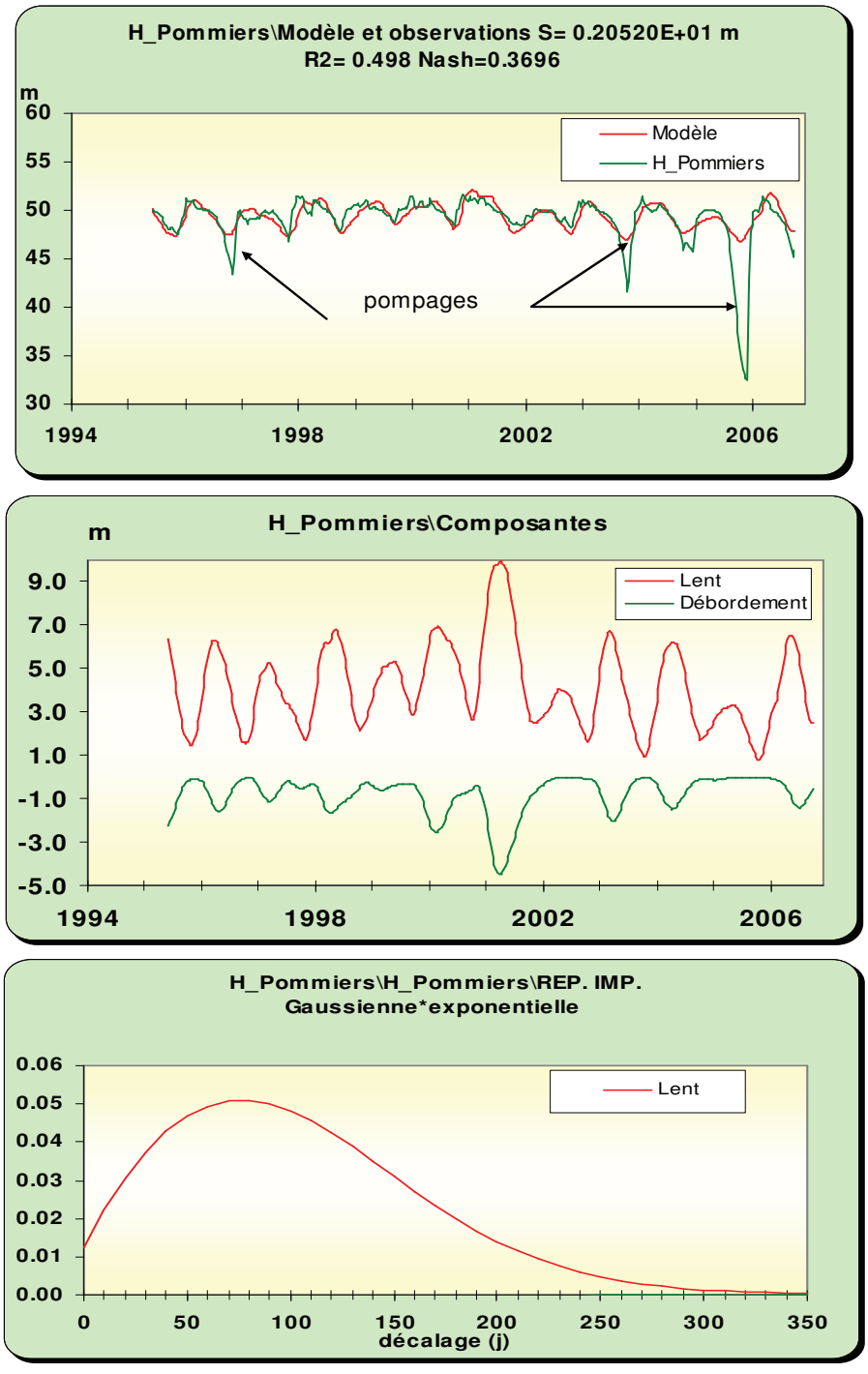
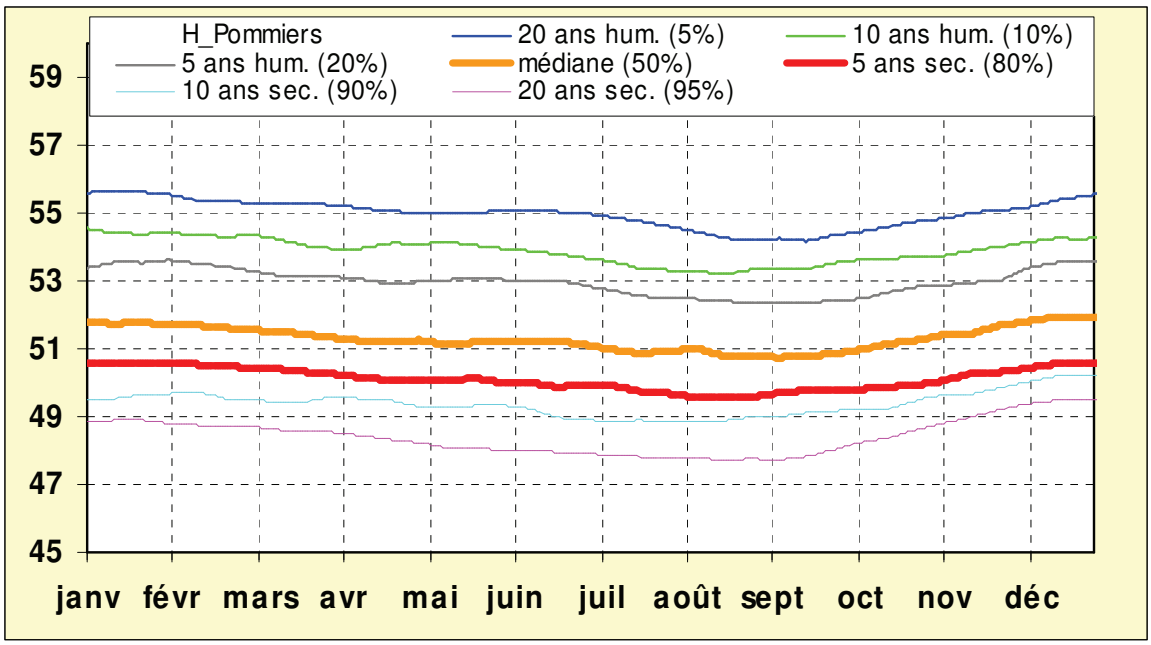


Illustration 128 : Modélisation du piézomètre de Pommiers (Turonien), de haut en bas : superposition du modèle sur la chronique, les différentes composantes, analyse impulsionnelle de la composante lente.



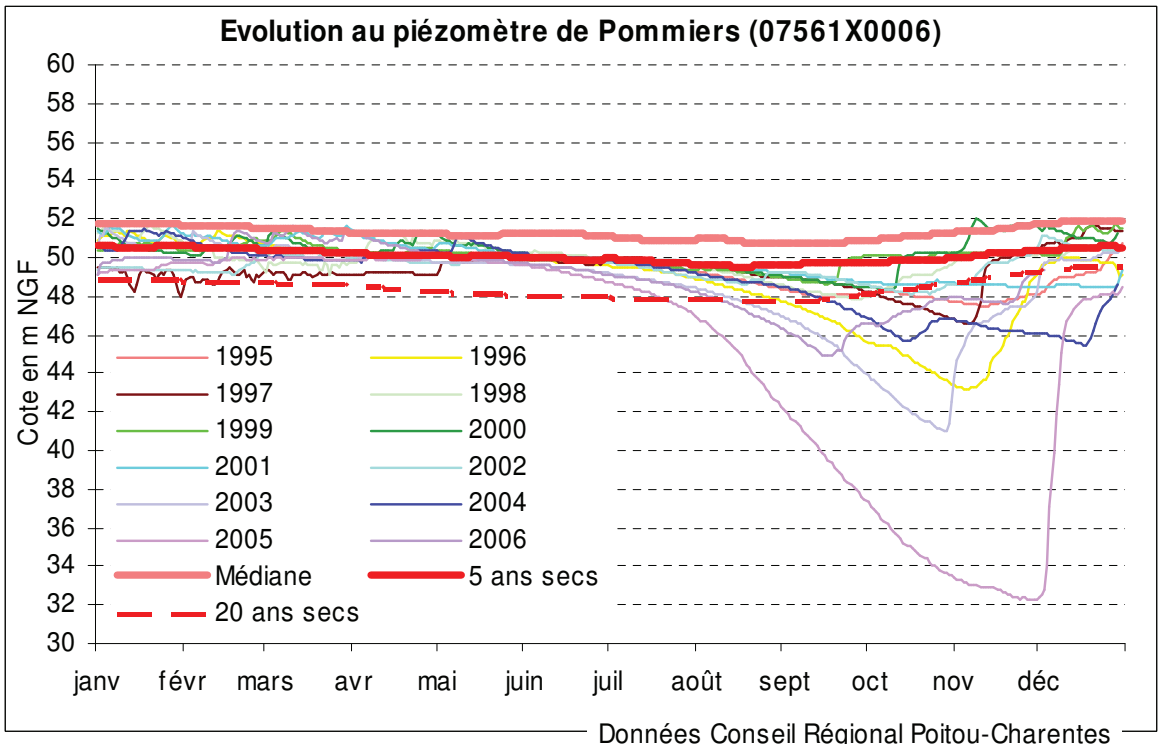


Illustration 129 : Utilisation du modèle du piézomètre de Pommiers en prévision : en haut courbes non influencé par les pompages (en m NGF) avec période de retour, en bas superposition des courbes médiane et 5 ans secs sur les chroniques.

Piézomètre de Biron (07077X0023) Turonien

Cet ouvrage est situé dans la partie aval du bassin versant de la Seugne, à l'amont du petit bassin du Médoc, dans une zone où le Turonien disparaît sous une couverture calcaréo-marneuse d'âge coniacien à campanien. Avec 200 m de profondeur, ce forage capte la nappe captive du Turonien.

Si la baisse piézométrique observée dans les années 1993-95 est une réalité (pas de problème au niveau des enregistrements), ce piézomètre serait sous l'influence de pompages quasiment permanents (AEP ?).

La modélisation souligne l'existence d'un seuil haut, autour de 16.5 m NGF, pouvant correspondre à des niveaux supérieurs très transmissifs, et un seuil d'étiage à peu prés constant autour de la cote de 10.5 m NGF. Mais, à la différence du piézomètre précédent de Pommiers, ces cotes hautes et basses sont très nettement inférieures aux cotes du réseau superficiel (Médoc) dans les environs du forage (autour de 30 m NGF). Toutefois, notons que la Seugne est située autour de ces cotes topographiques et pourrait expliquer l'existence d'un niveau de base.

La modélisation restitue une composante rapide, majoritaire en hiver, et une composante lente constituant les niveaux de la nappe l'été. La première a une incidence maximale sur la piézométrie au bout d'environ 10 jours ; la seconde présente un « pic » au bout de 1 à 2 mois et un « retour à 0 » au bout d'environ 10 mois.

Utilisé en prévision le modèle donne un niveau d'étiage 5 ans secs autour de 11 m NGF. La superposition des courbes théoriques sur la chronique (Illustration 131) montre que ces résultats sont cohérents. D'une manière générale, ce modèle apparaît bien représenter la réalité de l'état de la nappe.

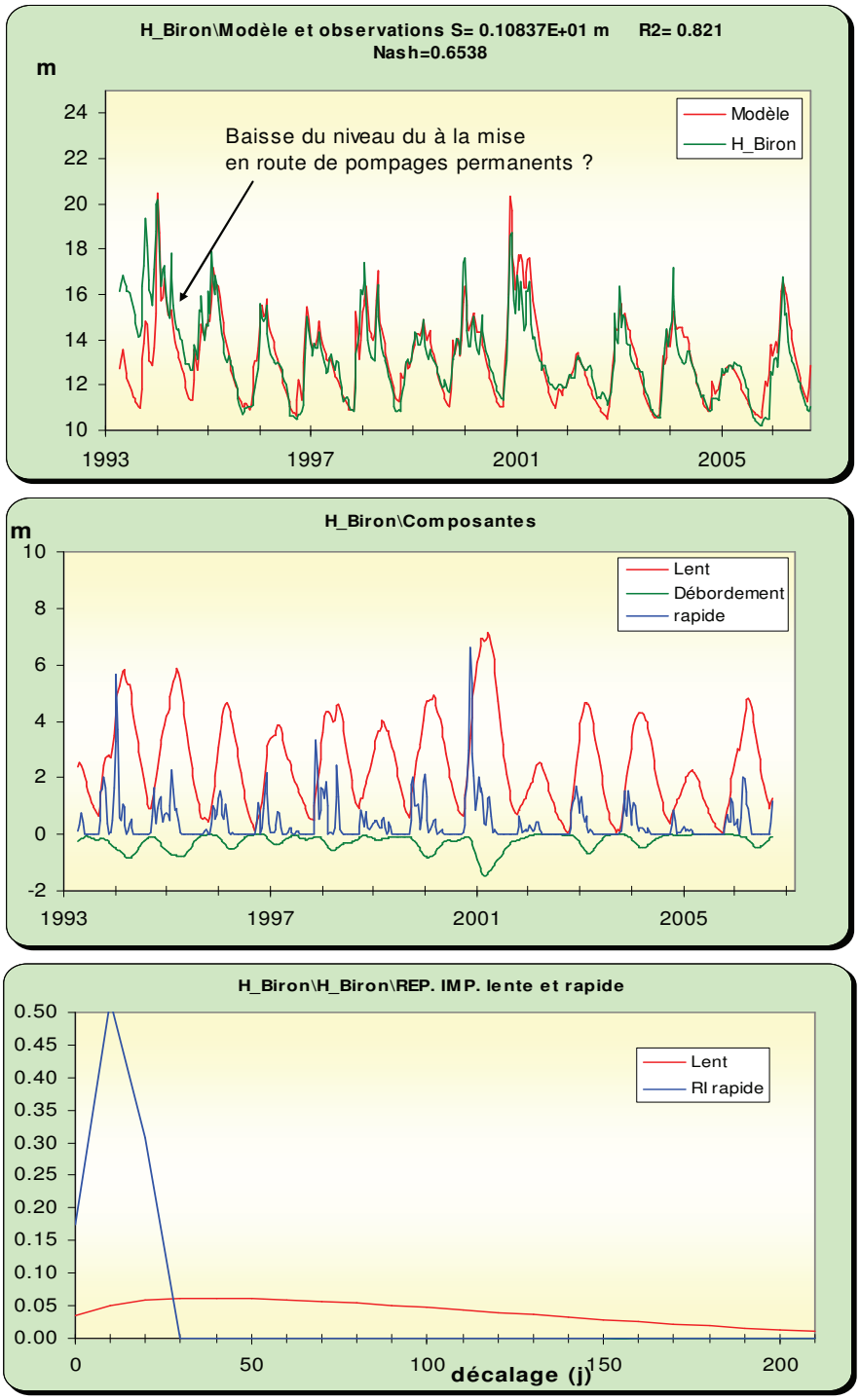
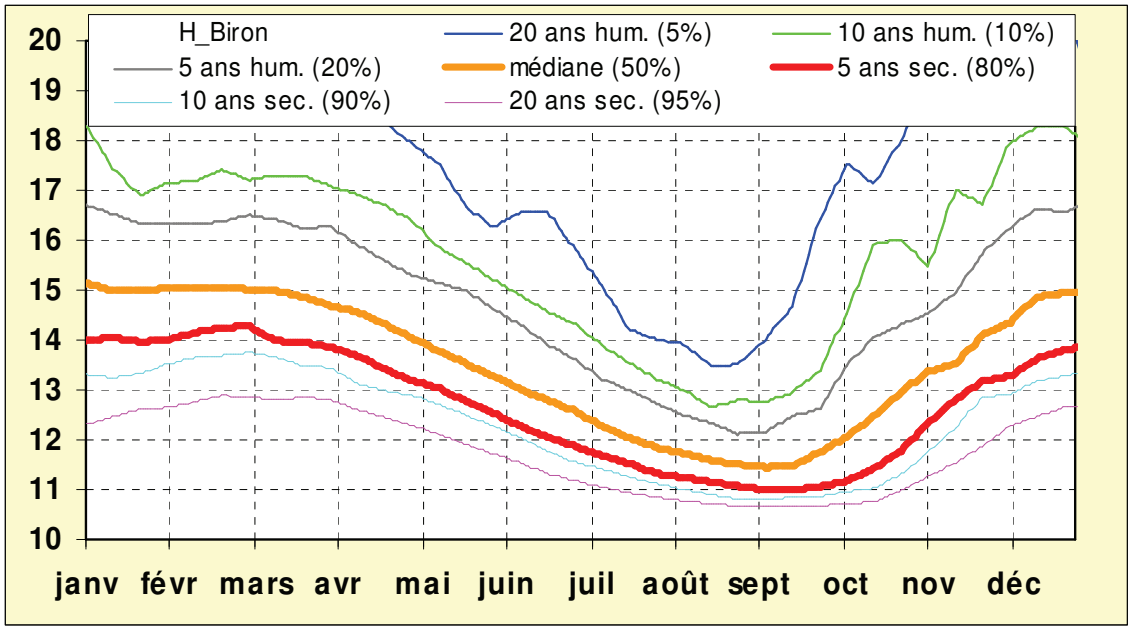


Illustration 130 : Modélisation du piézomètre de Biron (Turonien), de haut en bas : superposition du modèle sur la chronique, les différentes composantes, analyse impulsionnelle des composantes lente et rapide.



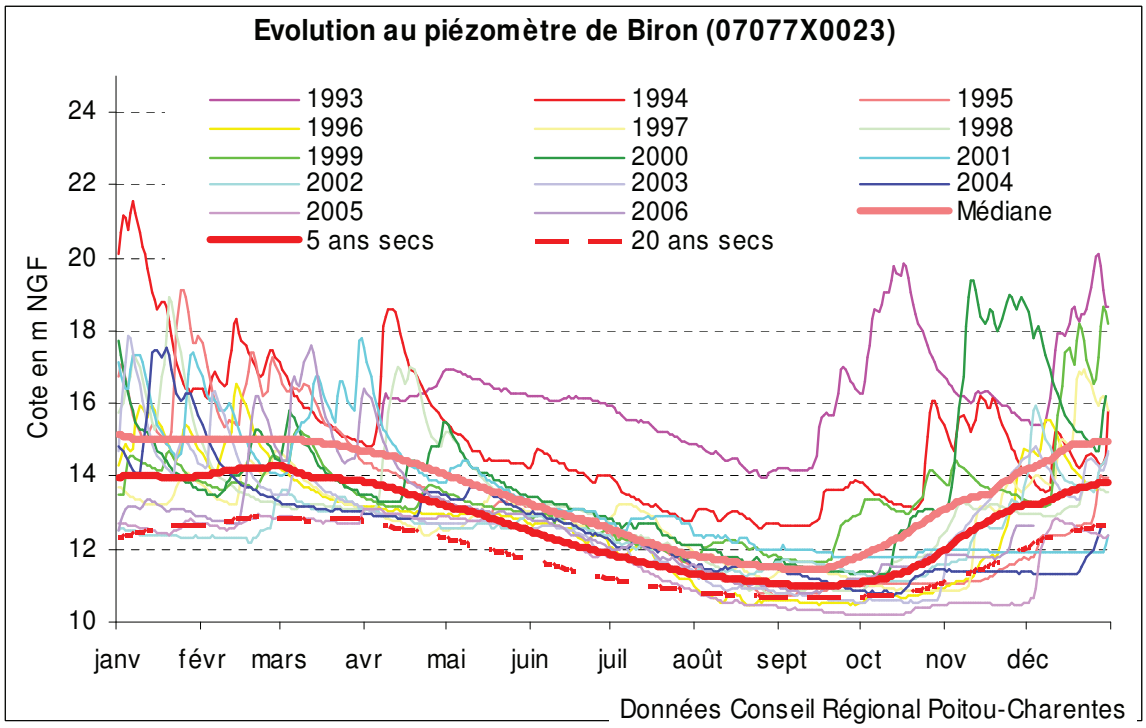


Illustration 131 : Utilisation du modèle du piézomètre de St-Césaire en prévision : en haut courbes non influencé par les pompages (en m NGF) avec période de retour, en bas superposition des courbes médiane, 5 et 20 ans secs sur les chroniques.

Piézomètre de Poussardière (06595X0016) Cénomanien

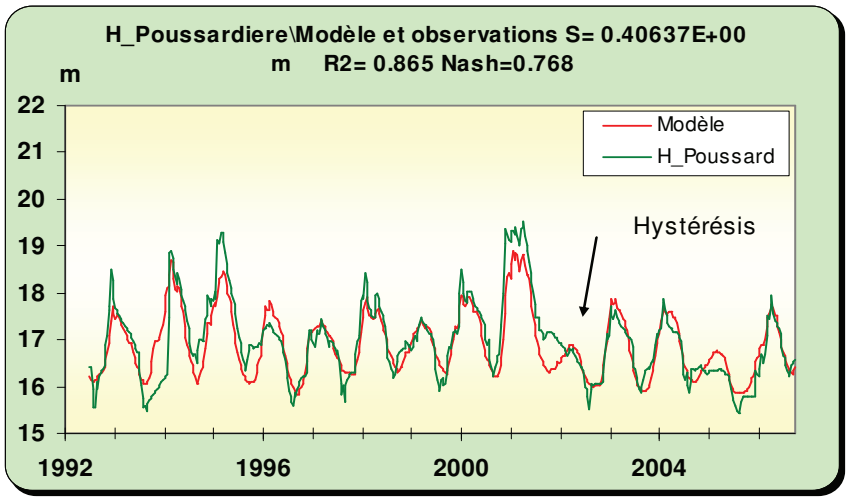
Situé en rive droite de la Charente, non loin de Saint-Savinien, ce forage de 66 m de profondeur capterait des calcaires et sables du Cénomanien inférieur à moyen, voire de l'Infra-Cénomanien.

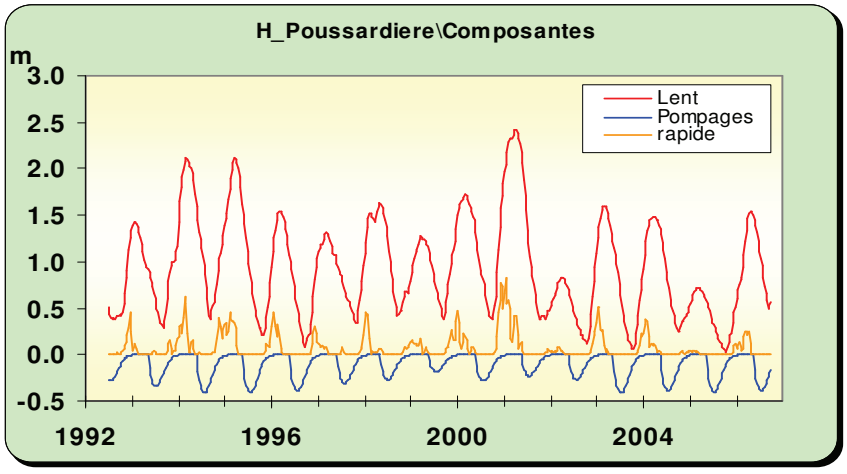
Sur la chronique de mesures on peut voir l'impact des pompages alentours. L'amélioration du calage a en effet nécessité l'introduction d'une fonction pompage.

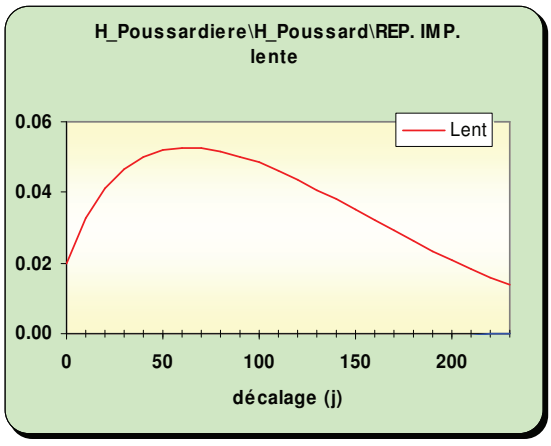
Il existe toutefois des écarts de calage qui demeurent difficilement explicable. C'est le cas notamment en 2001 après les fortes pluies de l'hiver.

Il n'y a ni seuil bas, ni seuil haut. Le modèle restitue des transferts rapides, très minoritaires, et des transferts lents avec un pic au bout de 2 mois et un retour à 0 au bout d'environ 1 an. Le caractère sableux du réservoir, du moins en partie, explique vraisemblablement l'inertie relativement forte dans le contexte régional de ce piézomètre, compte tenu aussi qu'il capte une nappe assez peu profonde.

Le modèle reproduit assez fidèlement la réalité. Utilisé en prévision, il donne un niveau « naturel » 5 ans secs autour de 16.2 m NGF, ce qui apparaît cohérent avec les chroniques de mesures (Illustration 133).







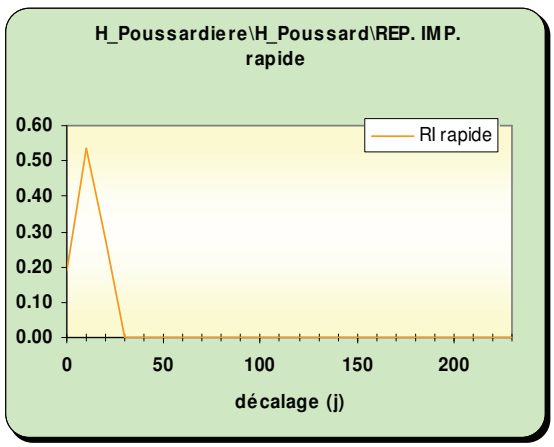


Illustration 132 : Modélisation du piézomètre de Poussardières (Cénomanien), de haut en bas : superposition du modèle sur la chronique, les différentes composantes, analyse impulsionnelle des composantes lente et rapide.

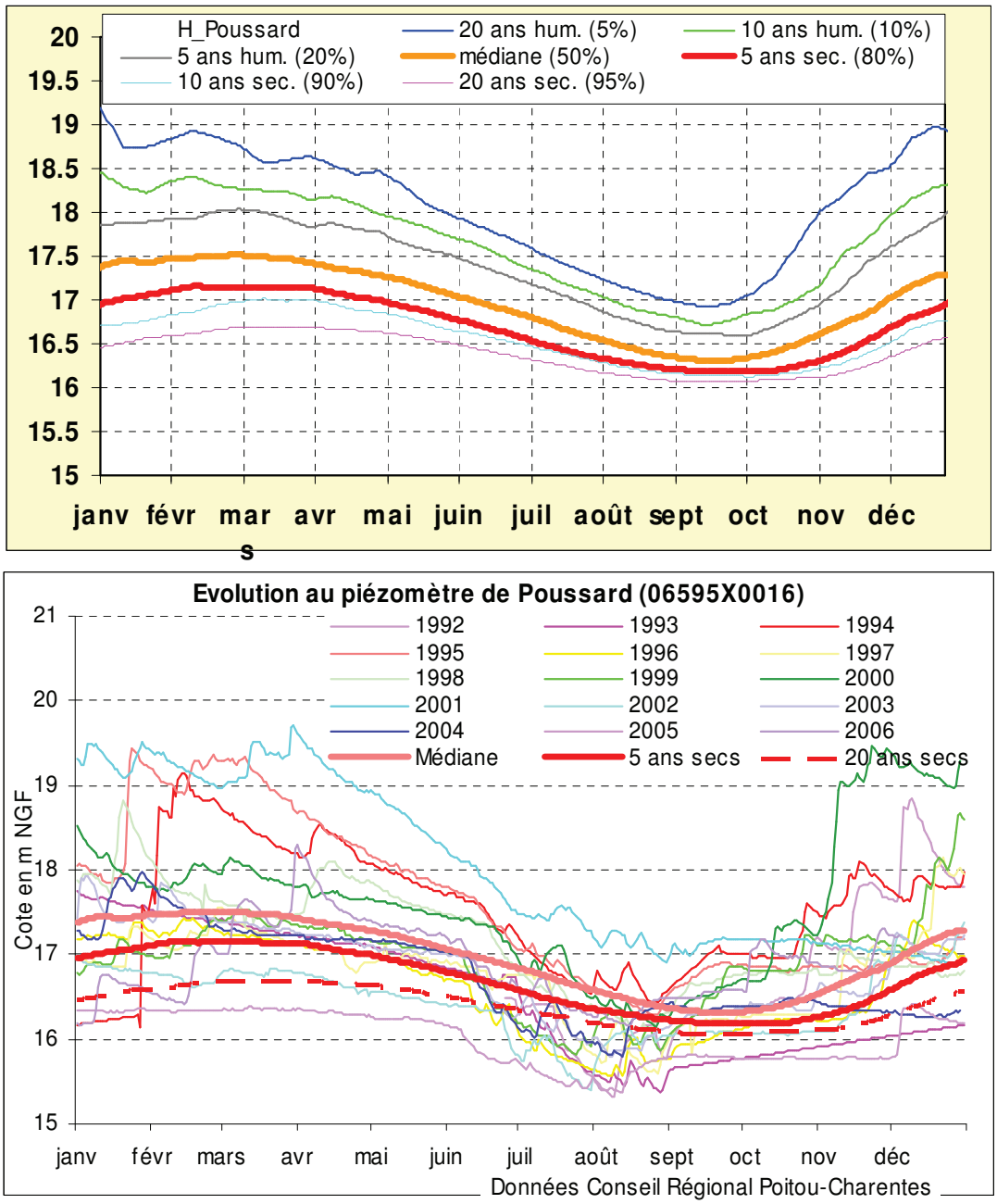


Illustration 133 : Utilisation du modèle du piézomètre de Poussardière en prévision : <u>en haut</u> courbes non influencé par les pompages (en m NGF) avec période de retour, <u>en bas</u> superposition des courbes médiane, 5 et 20 ans secs sur les chroniques.

Piézomètre de La Clisse (06828X0024) Turonien

Ce piézomètre est situé dans la partie amont de la vallée de l'Arnoult à 150 m de la rivière. Dune profondeur de 126 m, partant en surface du Coniacien, il traverserait le Turonien, qu'il capte, jusqu'à atteindre le Cénomanien.

Le calage du modèle n'a pu être réalisé sur les mesures 2005-06 qui suggèrent soit des problèmes d'enregistrement, soit la mise en route de pompages permanents dans les environs de l'ouvrage.

Le modèle de ce piézomètre montre l'impact des pompages qui représente à peu prés la moitié du battement annuel. Outre l'incidence des pompages, le niveau piézométrique se décompose en une composante lente dominante et une composante rapide non négligeable. L'analyse « impulsionnelle » de la première montre une mise en charge quasi-immédiate après une pluie efficace attribuée à un transfert de pression via le réseau de fractures. L'impact d'une pluie efficace ne se fait plus sentir au bout d'environ 6 mois.

Ces doubles transferts mettent en évidence l'hétérogénéité de l'aquifère avec une porosité de fractures (transfert rapide) et une porosité de matrice (transfert lent).

La rivière Arnoult au droit du forage est à peu prés à la cote de 22-23 m NGF, ce qui correspond approximativement à la cote d'étiage de la piézométrie si l'on fait abstraction de l'incidence des pompages. Le modèle utilisé en prévision donne la cote de 22.8 m NGF pour l'étiage 5 ans secs.

La nappe du Turonien resterait donc « naturellement » à une cote supérieure ou égale à la rivière, suggérant des apports de la nappe au cours d'eau dans ce secteur. Ceci est aussi conforme à la piézométrie de la nappe du Turonien.

La superposition des courbes théoriques sur les chroniques, nonobstant les années 2005-2006, souligne l'impact des prélèvements (Illustration 135).

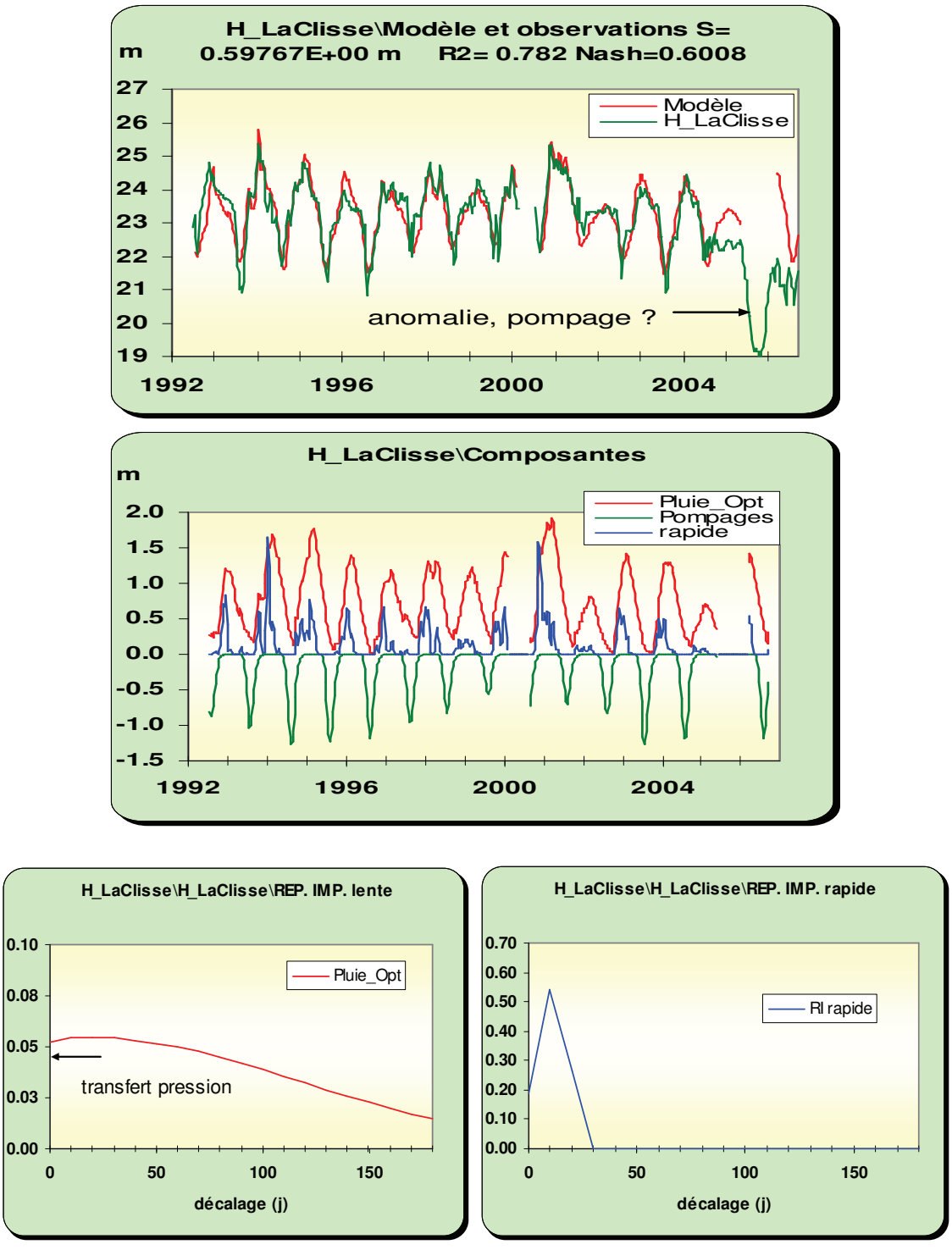
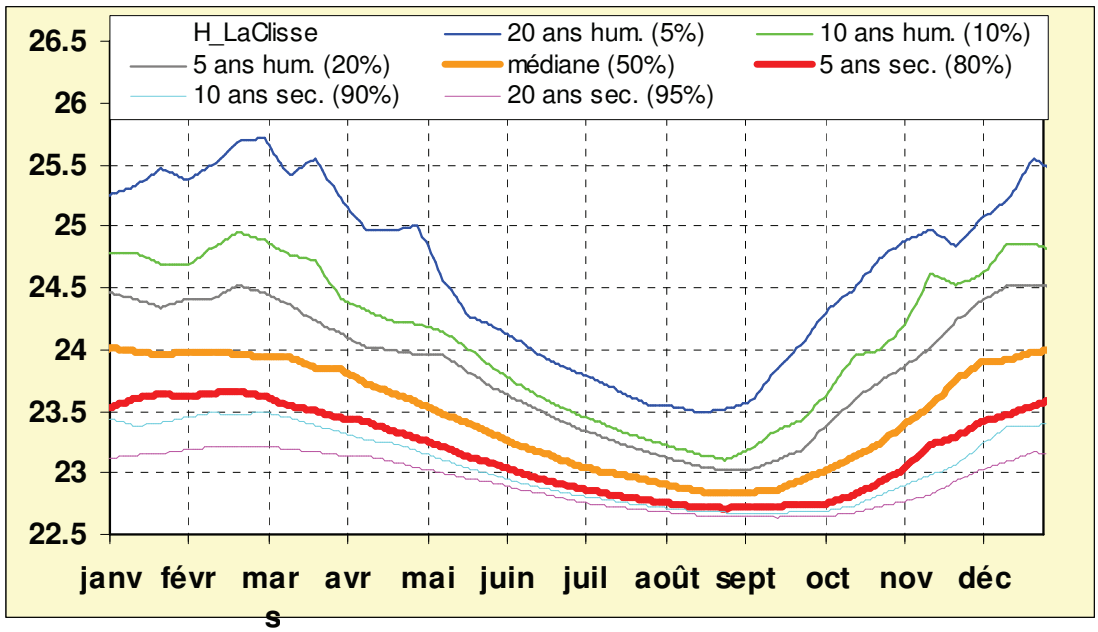


Illustration 134 : Modélisation du piézomètre de La Clisse (Turonien), de haut en bas : superposition du modèle sur la chronique, les différentes composantes, analyse impulsionnelle de la composante lente.



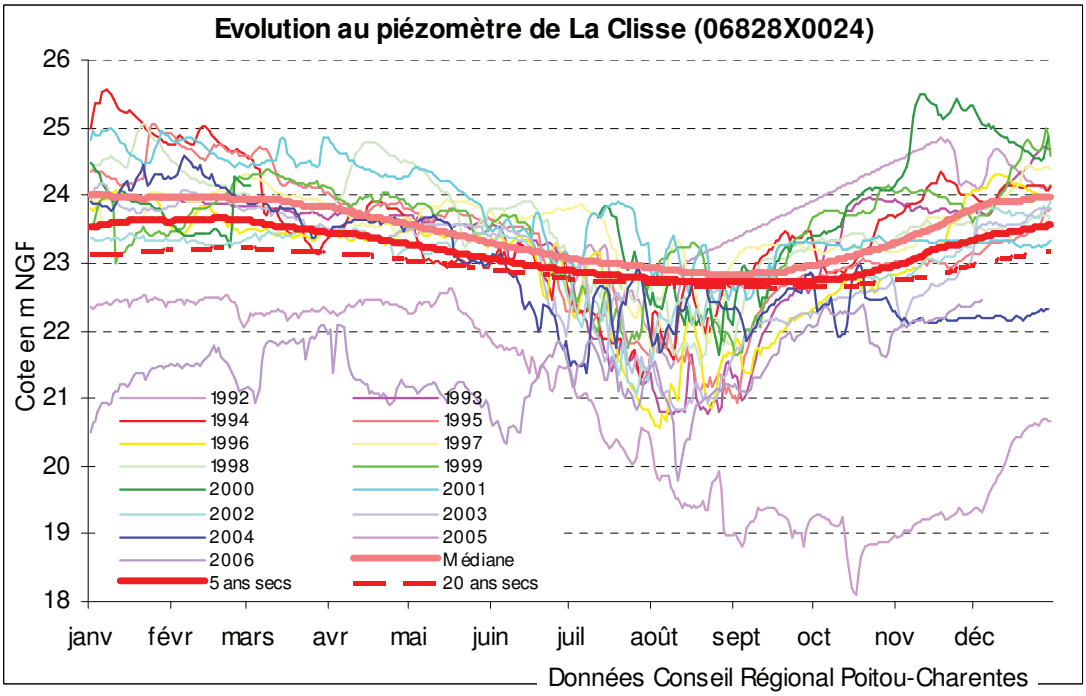


Illustration 135 : Utilisation du modèle du piézomètre de La Clisse en prévision : <u>en haut</u> courbes non influencé par les pompages (en m NGF) avec période de retour, <u>en bas</u> superposition des courbes médiane , 5 et 20 ans secs sur les chroniques.

Piézomètre de Bridon (06823X0034) Coniacien

Ce piézomètre correspond à un puits dans le Coniacien de la vallée de l'Arnoult (Commune de Ste-Radegonde).

L'évolution des niveaux piézométrique sur cet ouvrage est assez atypique et la chronique est courte, mais la modélisation a cependant été entreprise.

Le modèle permet de décomposer la chronique en une composante lente, dominante, et une composante rapide non négligeable. La composante lente montre une inertie importante faisant penser à un réservoir à bonne porosité matricielle, de type grés calcaire ou calcaire gréseux (impact maximum d'une pluie au bout de 6 mois, passage total de la pluie en un peu moins de 2 ans).

Le modèle a été utilisé pour reconstituer la chronique (Illustration 136).

La superposition des courbes théoriques sur les chroniques annuelles confirme la bonne représentativité du modèle. Les courbes théoriques sont peu resserrées en cohérence avec l'inertie de l'aquifère. Le piézomètre est bien représentatif de l'état de recharge de l'aquifère et assez peu sensible aux évènements météorologiques brutaux. Le niveau d'étiage 5 ans secs est de 9.4 m NGF.

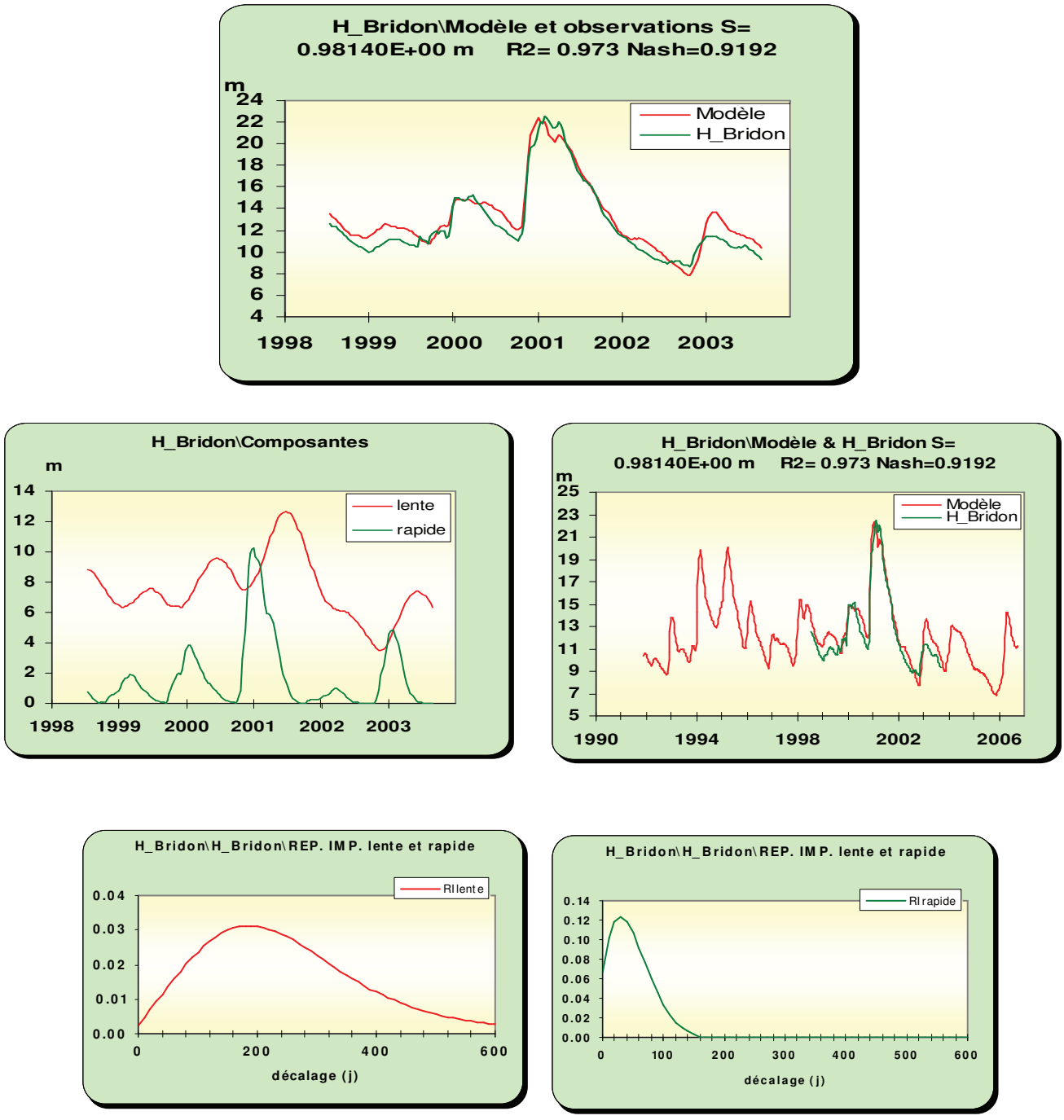


Illustration 136 : Modélisation du piézomètre de Bridon de haut en bas : superposition du modèle sur la chronique, les différentes composantes (à gauche), reconstitution d'une chronique avec le modèle (à droite), analyse impulsionnelle des composantes.

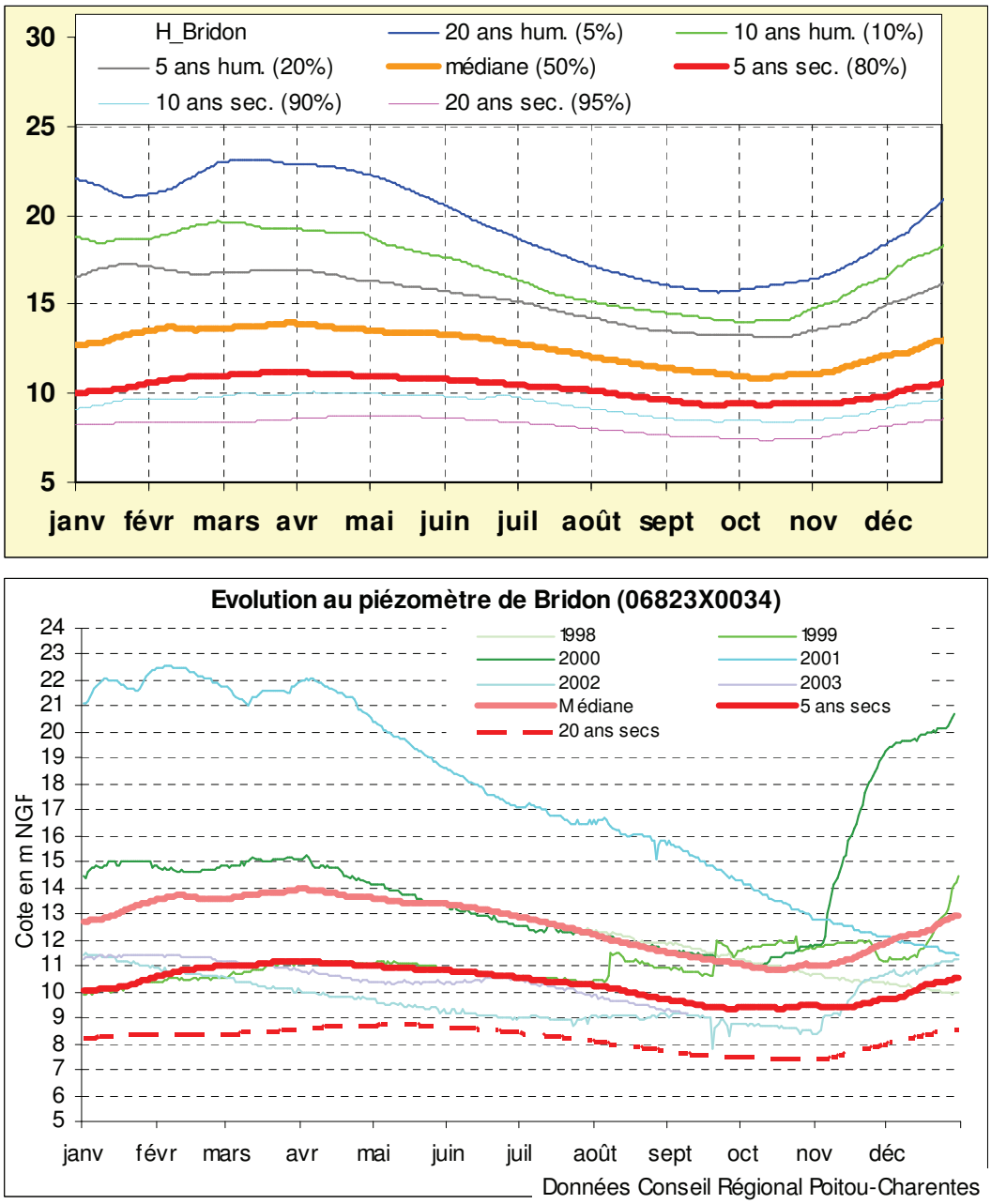


Illustration 137 : Utilisation du modèle du piézomètre de Bridon en prévision : en haut courbes noFR)n influencé par les pompages (en m NGF) avec période de retour, en bas superposition des courbes médiane, 5 et 10 ans secs sur les chroniques.

Piézomètre de St-Agnant (06822X0013) Turonien

Ce piézomètre, déjà traité avec le bassin versant de la Seudre (cf rapport BRGM RP54569FR), est situé sur la crête entre le bassin de l'Arnoult et celui du Marais de Brouage. Avec 59 m de profondeur il capte la nappe du Turonien.

Le modèle restitue une composante lente majoritaire, avec un pic « impulsionnel » à environ 40 jours, et une composante rapide importante en hautes eaux. Aucun débordement de nappe ou d'impact de pompages n'est mis en évidence. En revanche il existe un seuil bas, autour de 4 m NGF, qui suggère un soutien de la nappe à l'étiage par le réseau superficiel (marais, Arnoult ?).

Le modèle restitue un seuil d'étiage 5 ans secs de 4.4 m NGF ce qui apparaît cohérent avec la chronique de mesures (Illustration 139).

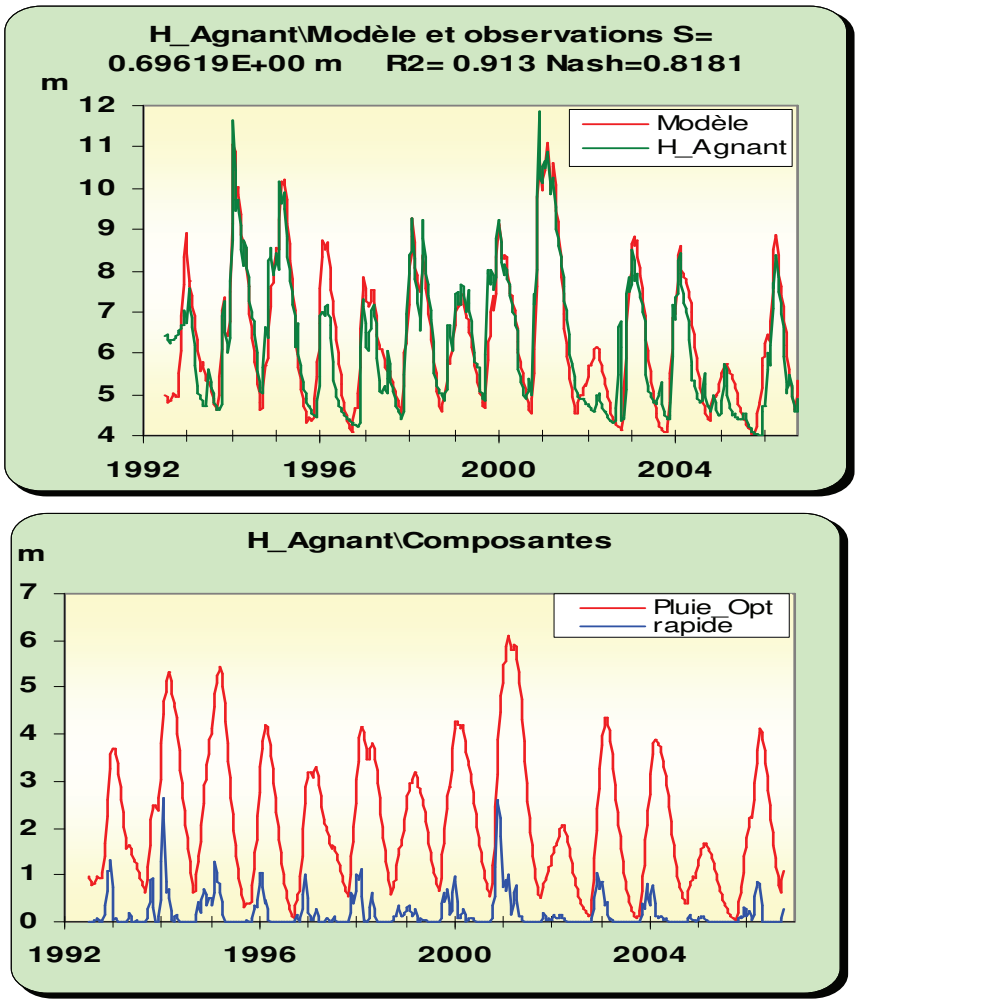


Illustration 138 : Modélisation du piézomètre de St Agant (Turonien), de haut en bas : superposition du modèle sur la chronique, les différentes composantes, analyse impulsionnelle des composantes

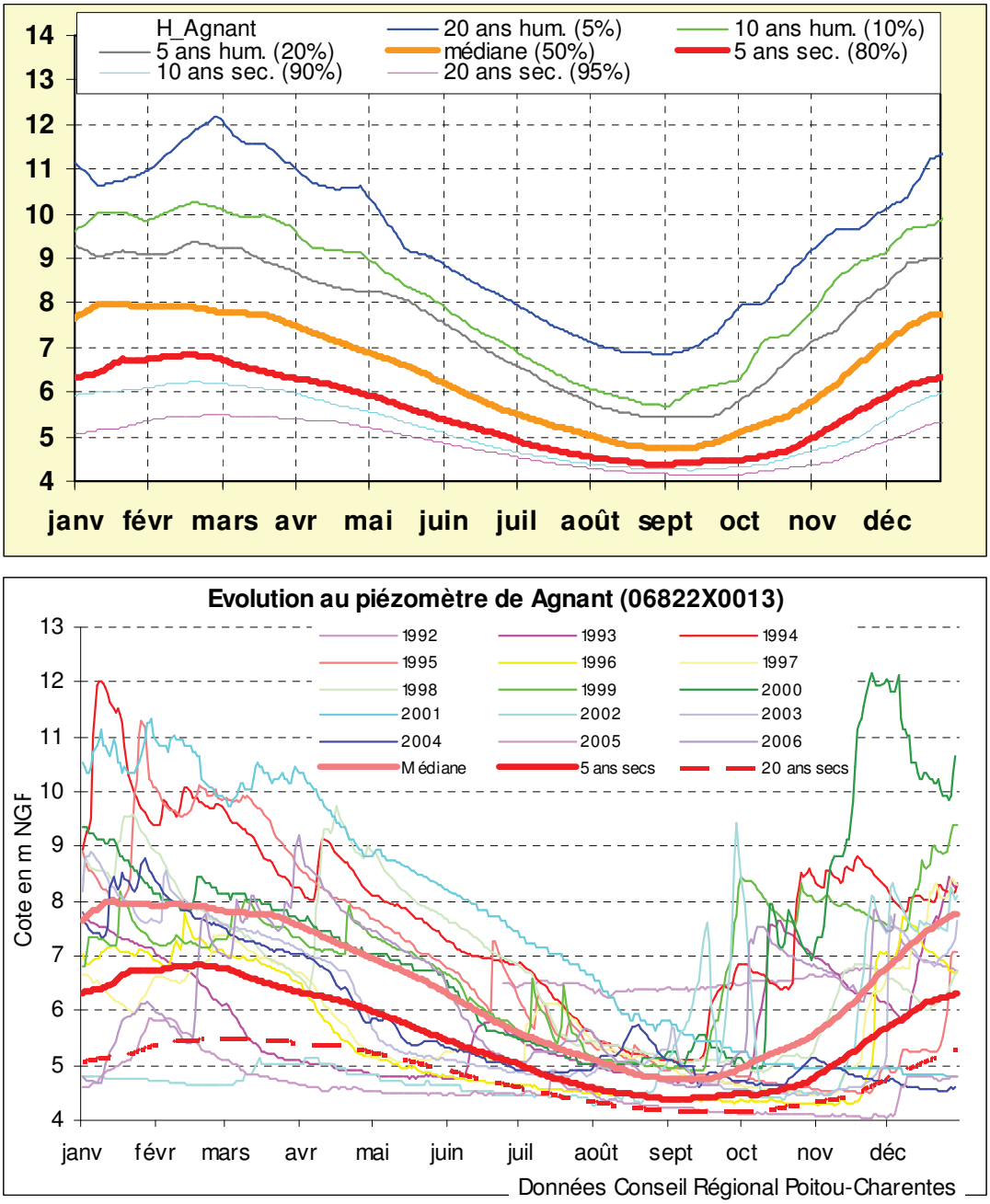


Illustration 139 : Utilisation du modèle du piézomètre de St-Agnant en prévision : <u>en haut</u> courbes non influencé par les pompages (en m NGF) avec période de retour, <u>en bas</u> superposition des courbes médiane et 5 ans secs sur les chroniques.

Piézomètre de Réorte (06591X0009) Jurassique supérieur

Ce piézomètre est situé au Sud de Surgères, dans la partie amont du bassin versant de la Gère. Avec 72 m de profondeur, il capte l'aquifère du Jurassique supérieur.

Le calage du modèle est assez moyen et fait apparaître un seuil de débordement autour de la cote 25 m NGF qui correspond à la tête de l'ouvrage. Il n'y a pas de composante rapide et la composante lente montre un maximum de « réponse impulsionnelle » au bout de plus de 2 mois et le passage complet d'une pluie au bout de plus de 6 mois.

Le modèle utilisé en prévision donne un niveau d'étiage 5 ans secs de 16 m NGF et un niveau d'étiage pour une année moyenne de 18 m NGF.

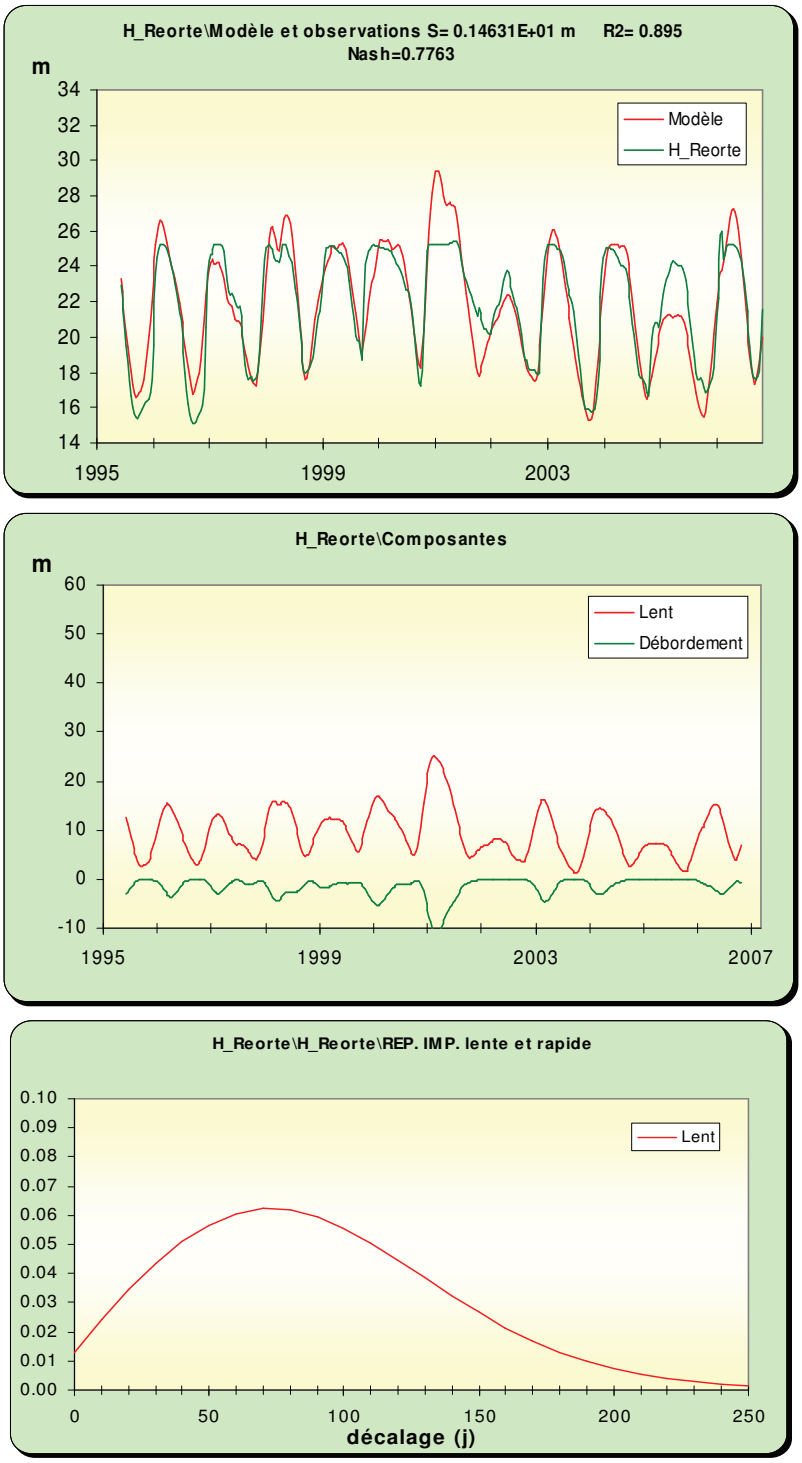


Illustration 140 : Modélisation du piézomètre de Réorte (Jurassique sup.), de haut en bas : superposition du modèle sur la chronique, les différentes composantes, analyse impulsionnelle de la composante lente.

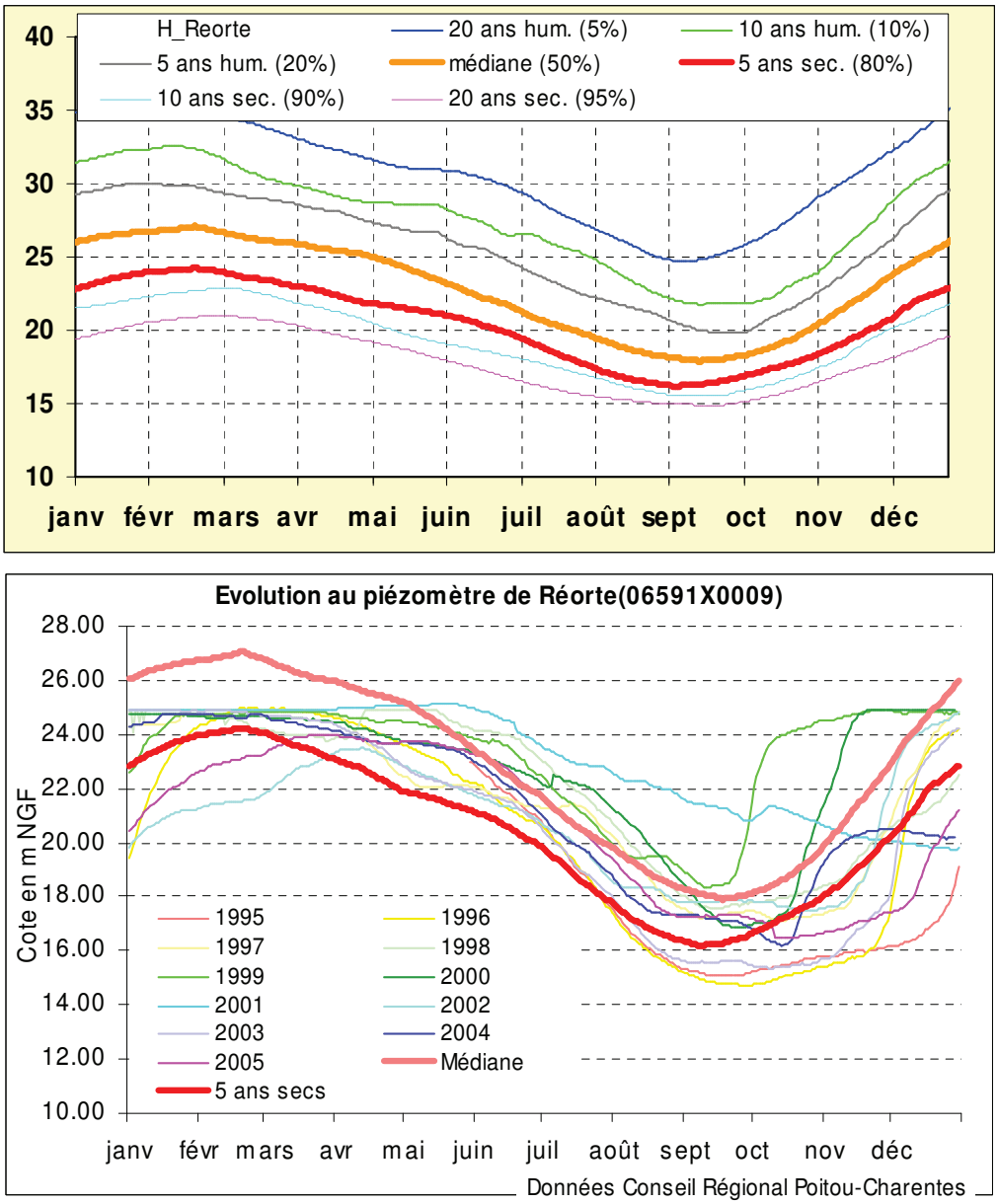


Illustration 141 : Utilisation du modèle du piézomètre de Réorte en prévision : en haut courbes non influencé par les pompages (en m NGF) avec période de retour, en bas superposition des courbes médiane et 5 ans secs sur les chroniques.

Piézomètre de Salles (06345X0027) Jurassique supérieur

Ce piézomètre caractérise le domaine Jurassique supérieur au Nord du bassin versant de la Charente aval : le bassin de la Devise et le Marais de Rochefort. Avec 28 m de profondeur il capte la nappe superficielle des calcaires marneux altérés et fissurés du Kimméridgien.

Malgré des problèmes de mesures certaines années (changement de repère), la chronique de Salles a été modélisée avec des résultats satisfaisants (Illustration 142). Elle a été calée sur la partie de la chronique la plus longue correspondant au repère le plus bas.

Le piézomètre apparaît fortement influencé par les pompages avec des niveaux qui atteignent -2 m NGF l'été. Outre une composante pompage importante le modèle restitue une composante lente avec un maximum de réaction à une pluie efficace au bout d'un mois et le passage complet d'une pluie en 3 mois environ (Illustration 142).

Utilisé en prévision, le modèle donne une valeur d'étiage en période sèche proche du 0 m NGF (0.10 m NGF pour 5 ans secs).

Ces résultats sont toutefois étonnants au regard de l'environnement de l'ouvrage. D'une part, même si le rivage est à environ 3 km, il est difficile d'admettre que la piézométrie de la nappe puisse naturellement descendre autour du 0 m NGF (nécessité de maintenir un gradient continent-océan, nécessité de tenir compte de la densité élevée des eaux salées). D'autre part, il est aussi difficilement concevable de descendre sous le niveau des marais alentours, c'est-à-dire approximativement sous la cote de 2 m NGF. Ces remarques suggèrent donc l'existence d'une erreur de repère non pas sur la partie haute de la chronique mais plutôt sur la partie basse (la plus longue). Si tel est le cas, le modèle reproduisant par ailleurs bien les phénomènes, il conviendrait de décaler d'environ 2 m vers le haut les courbes théoriques. Le niveau d'étiage serait, ce qui est plus logique, proche de 2 m NGF.

Compte tenu des enjeux, ces incertitudes de repère sont à lever.

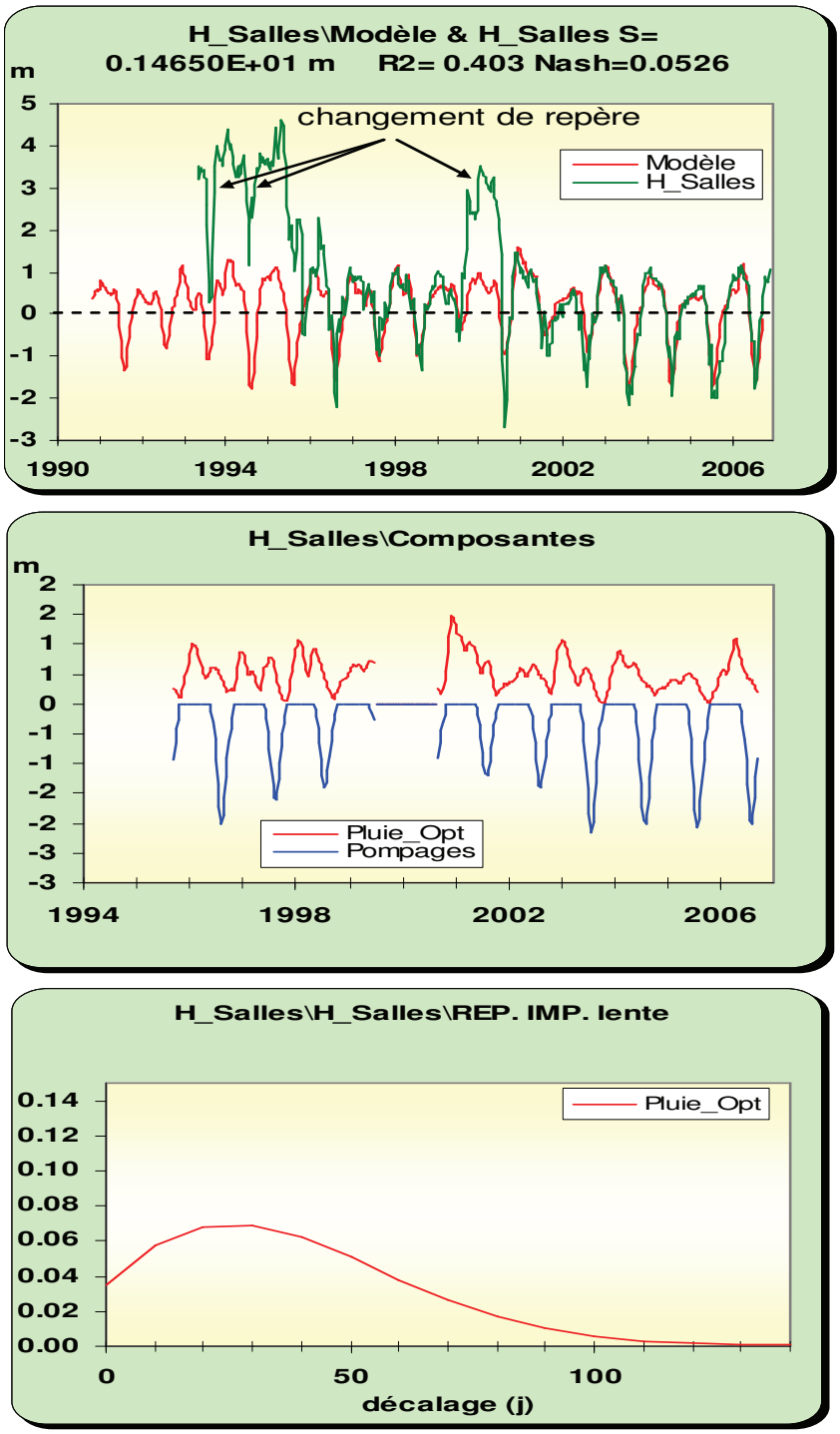
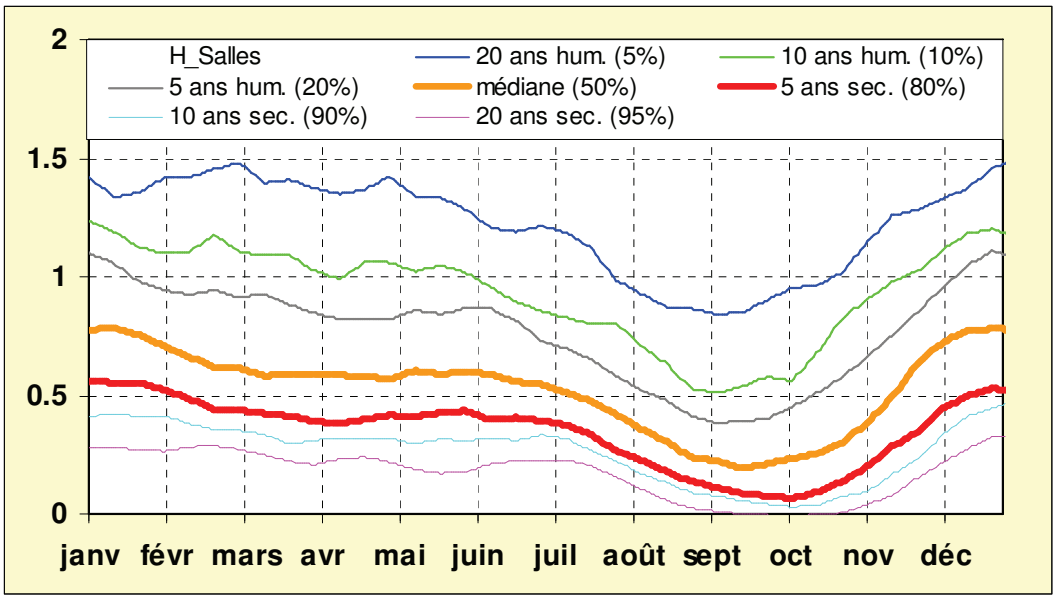


Illustration 142 : Modélisation du piézomètre de Salles (Jurassique sup.), de haut en bas : superposition du modèle sur la chronique, les différentes composantes, analyse impulsionnelle de la composante lente.



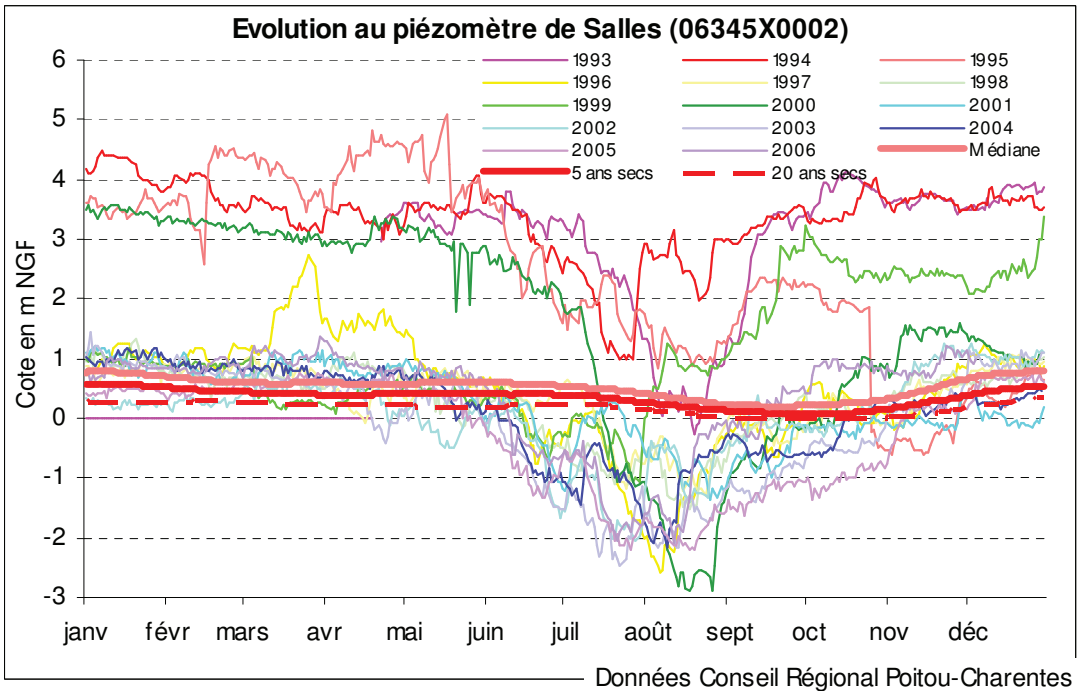


Illustration 143 : Utilisation du modèle du piézomètre de Salles en prévision : <u>en haut</u> courbes non influencé par les pompages (en m NGF) avec période de retour, <u>en bas</u> superposition des courbes médiane, 5 et 20 ans secs sur les chroniques.

4.2.2. Analyse des chroniques de débit

Station de Jarnac

Situé entre Angoulême et Cognac, la station de Jarnac enregistre la somme des débits amont de Vindelle et de Foulpougne (sources de la Touvre), auxquels viennent aussi s'ajouter les apports des bassins versants sur substratum crétacé de rive gauche (Claix, Boême…) et les apports des bassins versants sur les marnes du Jurassique supérieur de rive droite.

La modélisation de la station de Jarnac a été entreprise malgré des chroniques de mesures courtes et discontinues (Illustration 144). Le calage est cependant satisfaisant avec un R2 de 0.92.

Cette modélisation a été réalisée avec en entrée les débits amont de Vindelle et de Foulpougne, et le piézomètre de Ballans représentant les apports du Jurassique supérieur. Une fonction « Lâchers » a également été introduite même si leur impact apparaît très amorti sur les chroniques.

La composante Vindelle et les écoulements rapides « inexpliqués » forment l'essentiel des débits en hautes eaux.

En basses eaux en revanche, la station de Foulpougne contribue significativement au débit à Jarnac. L'analyse impulsionnelle montre l'inertie nettement plus importante des apports du karst de la Rochefoucauld.

Utilisé en prévision, le modèle donne un débit d'étiage de l'ordre de 11.4 m^3/s pour 5 ans secs. Le DOE du SDAGE est de 10 m^3/s et le DCR de 5 m^3/s.

La somme des débits 5 ans secs donnés par le modèle à Foulpougne et à Vindelle est de 8.8 m^3/s. Entre Jarnac et Vindelle, les apports des cours d'eau coulant sur du Crétacé en rive gauche (Boême, Charreau, Claix…) et du Jurassique supérieur en rive droite peuvent donc être estimés à 2.6 m^3/s en année sèche si l'on considère les chiffres précédents. **Toutefois ces résultats doivent être regardés avec prudence au regard de la fiabilité de la chronique et de la station de Jarnac.**

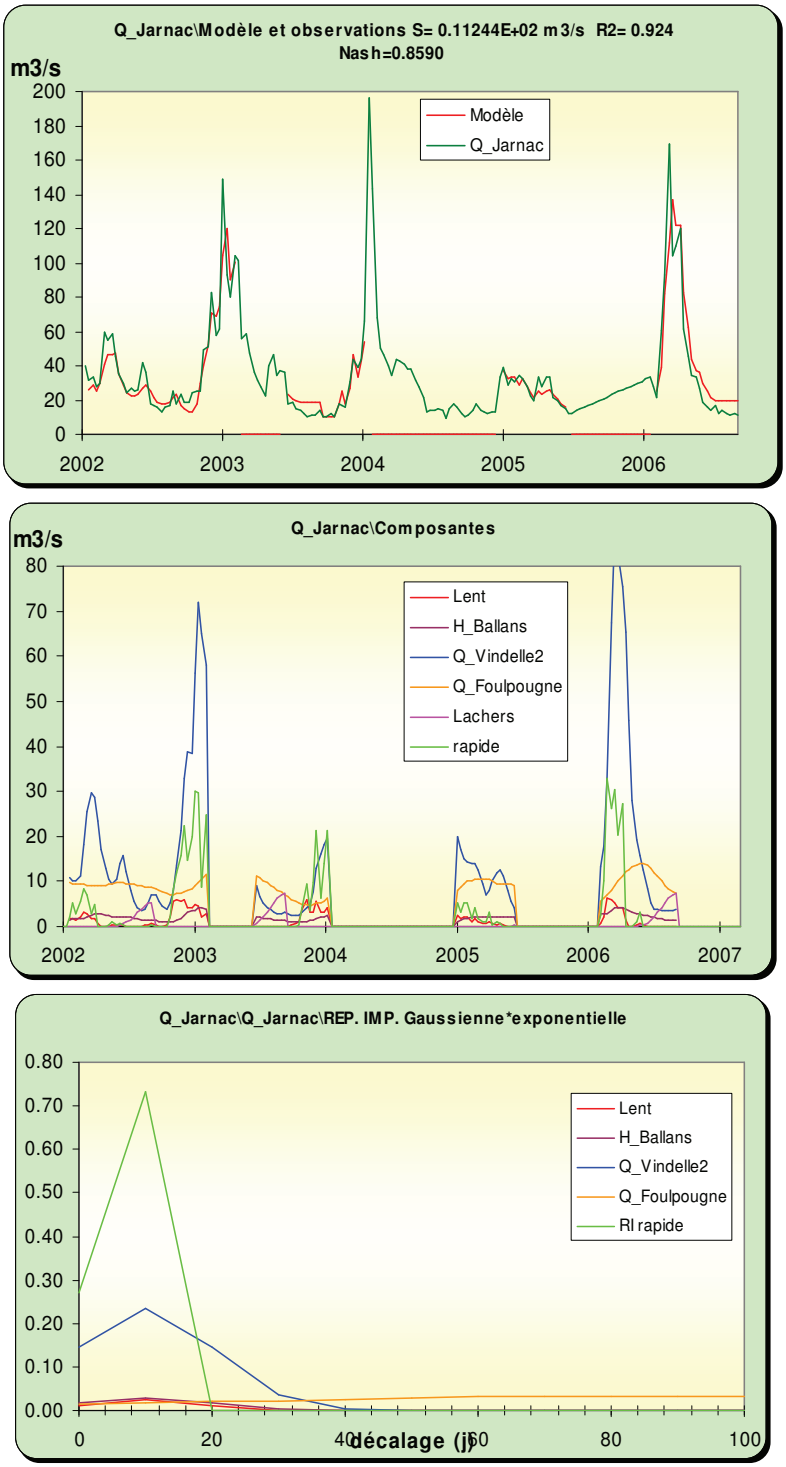


Illustration 144 : Modélisation de la station de Jarnac de haut en bas : superposition du modèle sur la chronique, les différentes composantes, analyse impulsionnelle des composantes.

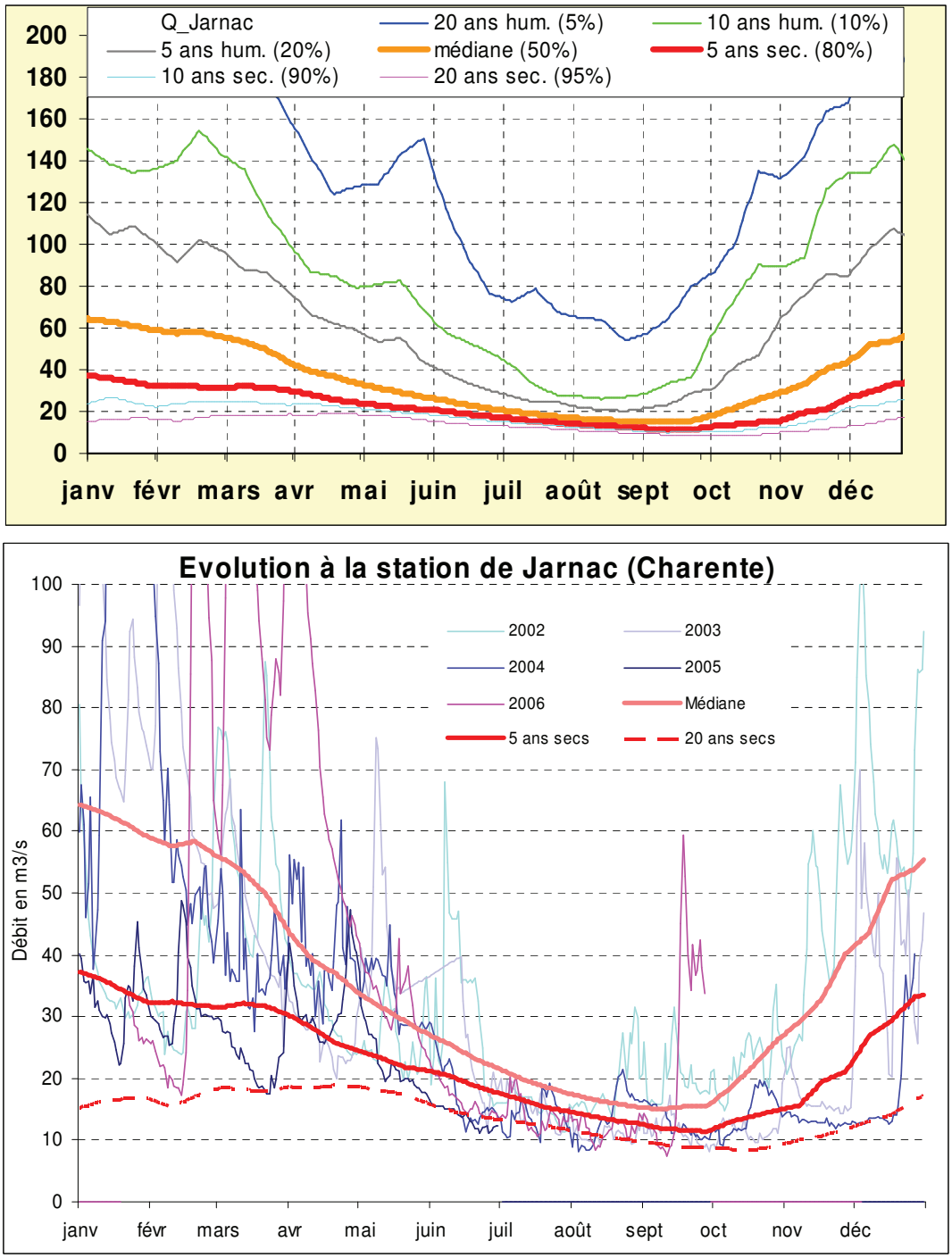


Illustration 145 : Utilisation du modèle de la station de Jarnac en prévision : <u>en haut</u> courbes théoriques avec période de retour, <u>en bas</u> superposition des courbes médiane, 5 et 20 ans secs sur les chroniques annuelles.

Station de Salles d'Angles

Cette station est située à l'aval du Né et mesure 2 bras de ce cours d'eau. La faible longueur de la chronique a compliqué le travail de modélisation dont les résultats sont assez peu satisfaisants. Le calage sur la chronique apparaît en effet très moyen surtout en hautes eaux.

Les corrélations entre débit à Salles et piézométrie de la nappe du Turonien à Salignac ou à Rouffiac sont faibles. La modélisation ne fait apparaître qu'une composante lente.

En prévision, en année sèche, le débit d'étiage est nul ce qui est cohérent avec les mesures disponibles de 2001 à 2005. Rappelons que sur cette station le DOE (référence SDAGE) est de 0.4 m^3/s et le DCR est de 0.13 m^3/s.

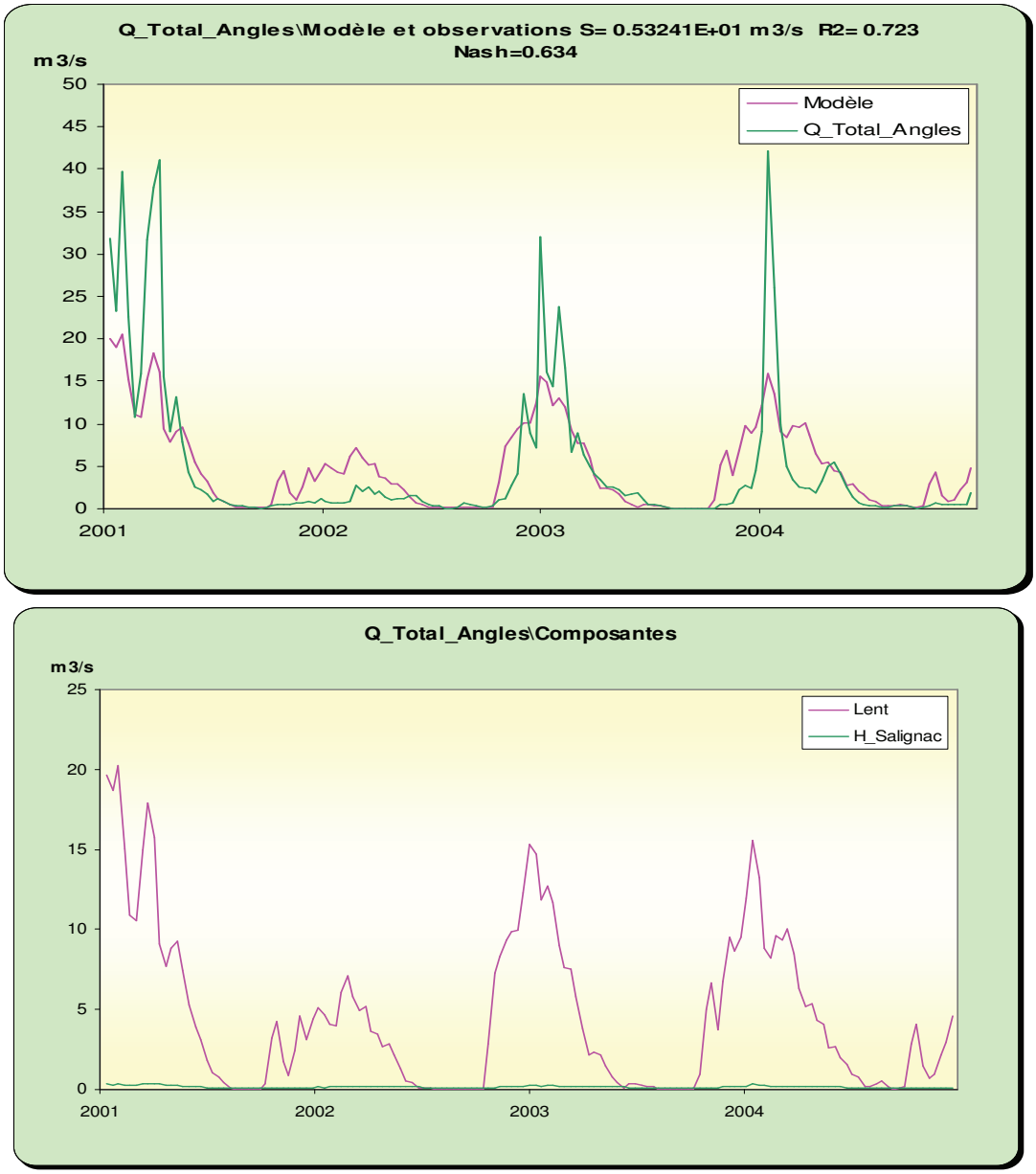
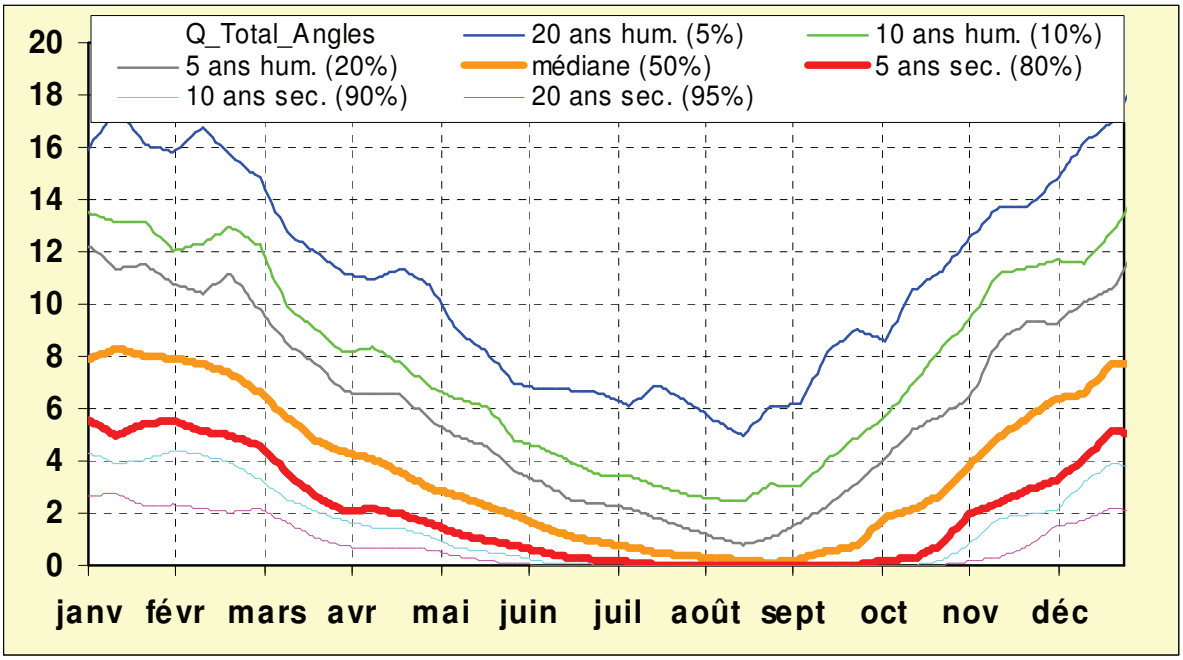


Illustration 146 : Modélisation de la station de Salles d'Angles (Né) de haut en bas : superposition du modèle sur la chronique, les différentes composantes.



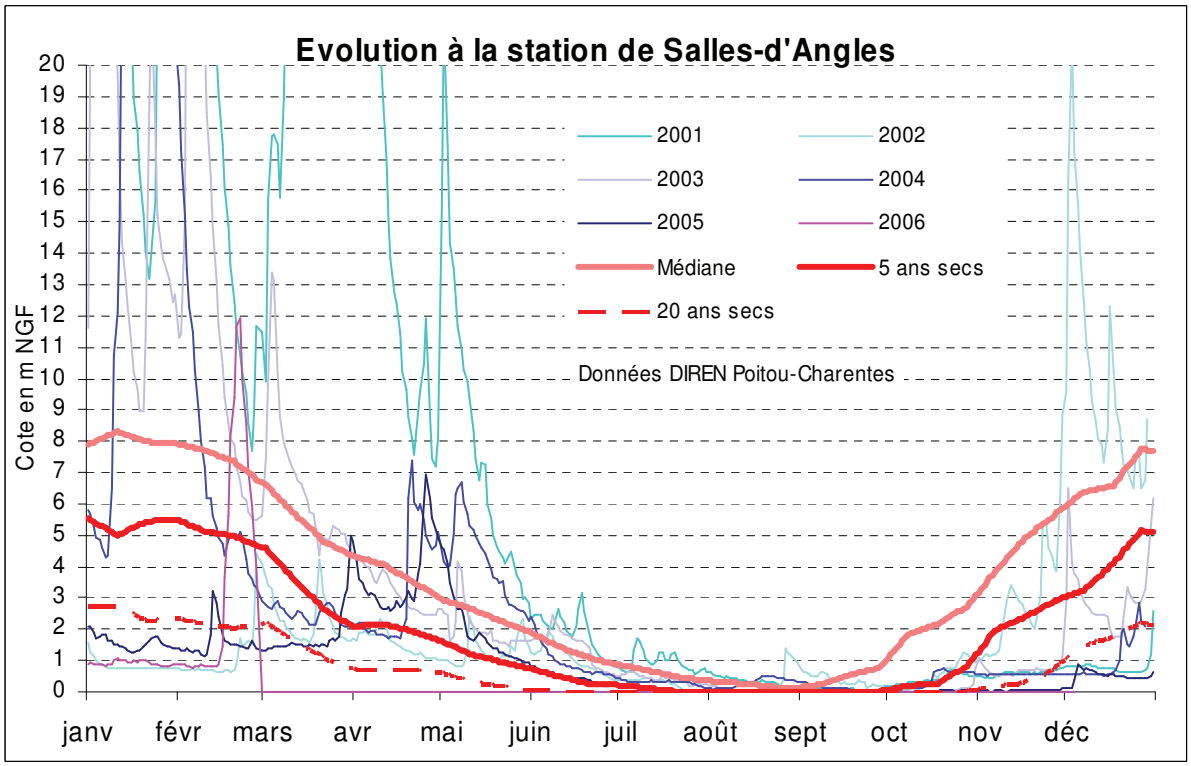


Illustration 147 : Utilisation du modèle de la station de Salles d'Angles en prévision : <u>en haut</u> courbes théoriques avec période de retour, <u>en bas</u> superposition des courbes médiane, 5 et 20 ans secs sur les chroniques annuelles.

Station de Chaniers

Située sur la Charente entre Cognac et Saintes, à l'amont de la confluence avec la Seugne, la station de Chaniers intègre en plus par rapport au débit à Jarnac les apports des bassins versants de l'Antenne et de la Soloire en rive droite, du Né en rive gauche. Les 2 premiers sont sur substratum de Jurassique supérieur (calcaires et marnes), le second sur des terrains principalement d'âge crétacé.

Malgré un historique très court, limité pratiquement à un seul cycle annuel, la modélisation de cette station a été entreprise. Compte tenu du faible recul, les résultats doivent être considérés avec prudence.

Il y a une corrélation importante (et logique) entre les débits à Jarnac et ceux à Chaniers. La composante nappe représentée par St-Césaire est négligeable. Les lâchers ont aussi un impact très faible. L'apport des nappes est aussi matérialisé par une composante lente aussi importante que les apports du Né, en dehors de la période d'étiage où ces deux contributions sont quasiment nulles.

Utilisé en prévision, le modèle restitue un débit d'étiage 5 ans secs autour de 12.5 m^3/s. La superposition des courbes théoriques données par le modèle sur les chroniques (Illustration 149) montre toutefois des résultats assez cohérents.

En considérant un débit « naturel » 5 ans secs de 11.4 m^3/s à Jarnac, l'absence d'écoulement du Né à l'étiage, les apports de la Soloire et de l'Antenne en période sèche se situeraient autour de 1 m^3/s.

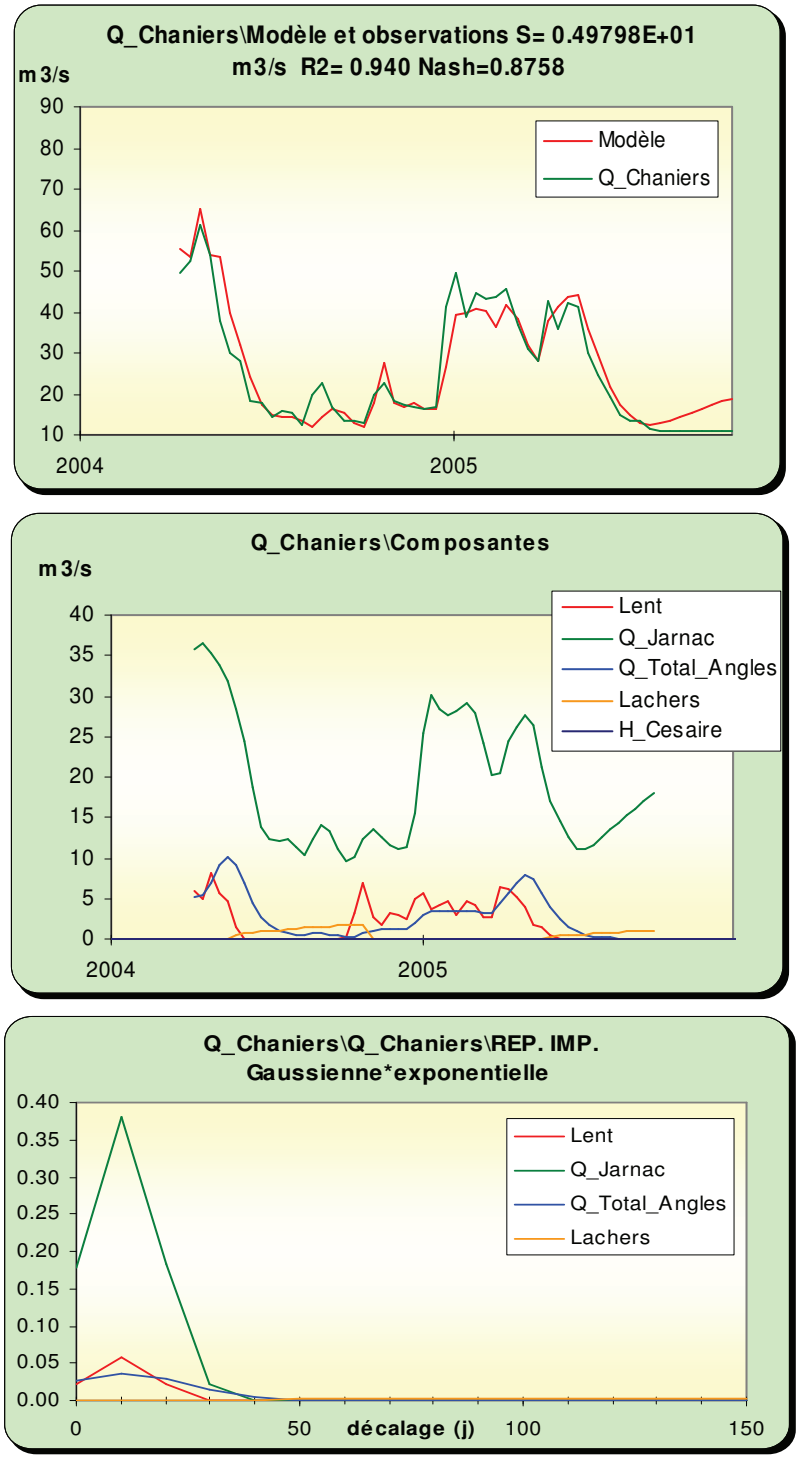
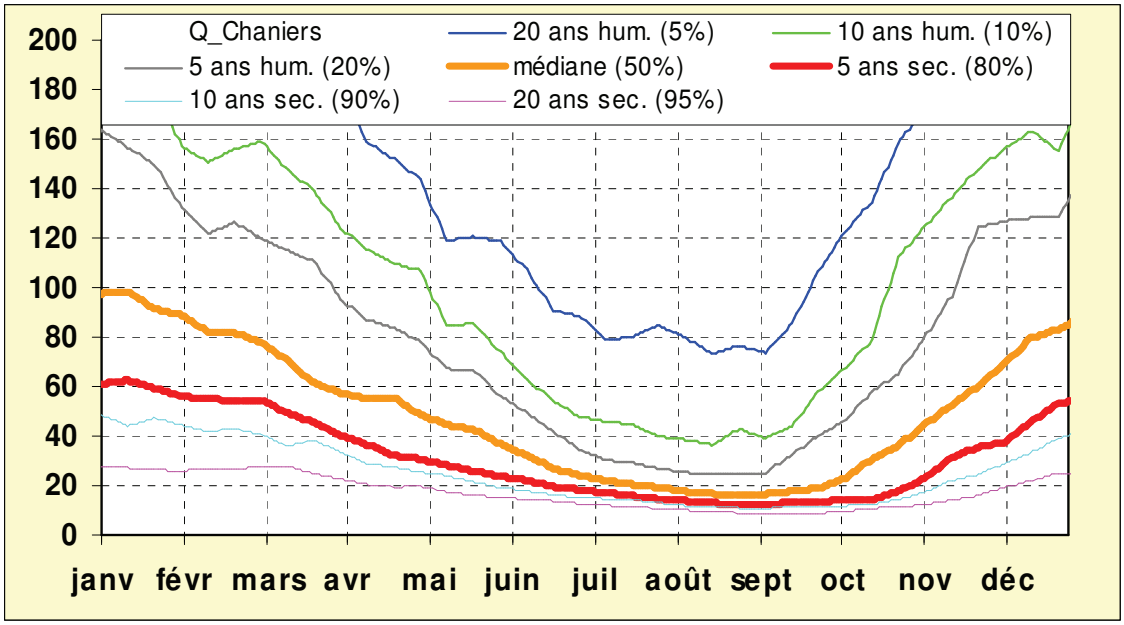


Illustration 148 : Modélisation de la station de Chaniers de haut en bas : superposition du modèle sur la chronique, les différentes composantes, analyse impulsionnelle des composantes.



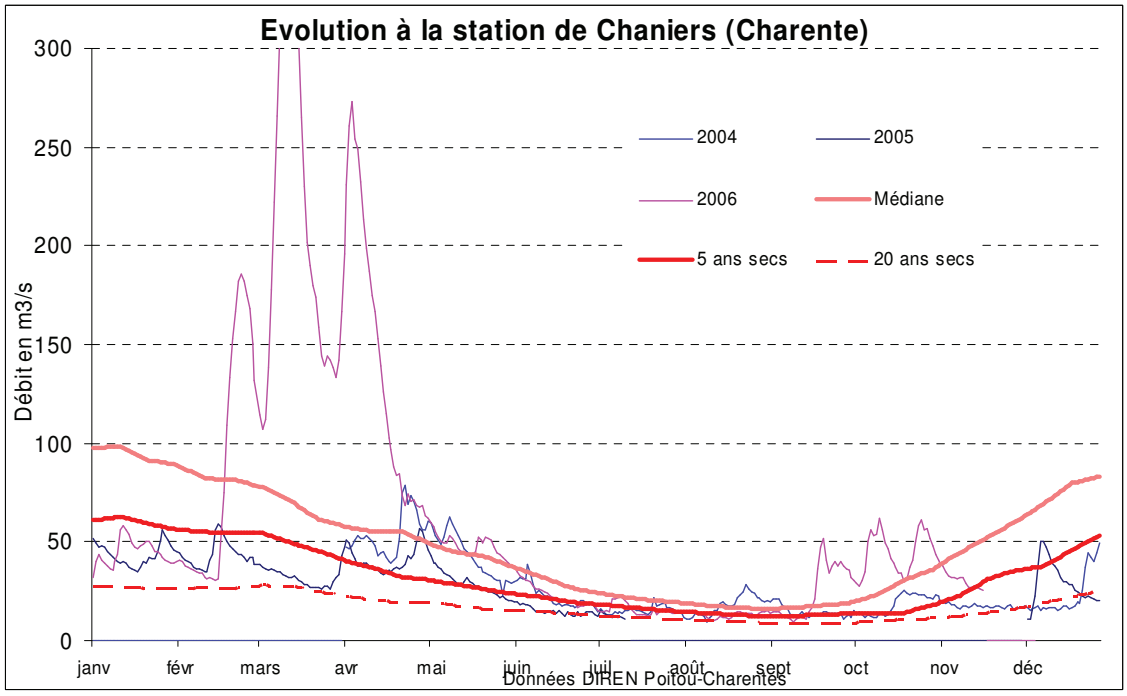


Illustration 149 : Utilisation du modèle de la station de Chaniers en prévision : en haut courbes théoriques avec période de retour, en bas superposition des courbes médiane, 5 et 20 ans secs sur les chroniques annuelles.

Station de St-Seurin-de-Palenne

La station de St-Seurin-de-Palenne est située au lieu-dit « La Lijardière », à l'aval de Pons sur la Seugne. Elle mesure les débits de ce cours d'eau avant sa confluence avec la Charente.

Le modèle, dont le calage est satisfaisant, rend compte d'une composante rapide très majoritaire en hautes eaux. En basses eaux, c'est l'apport des nappes, dont la nappe du Turonien représentée dans le modèle par le piézomètre de Biron, qui fait le débit du cours d'eau.

Sur cette station, le DOE a été fixé à 1 m^3/s et le DCR à 0.5 m^3/s. Utilisé en prévision, le modèle donne un débit d'étiage 5 ans secs de 1.3 m^3/s. La superposition des courbes théoriques « naturelles » sur la chronique annuelle des mesures montre un écart assez net en période estivale, interprété comme découlant des prélèvements (Illustration 151).

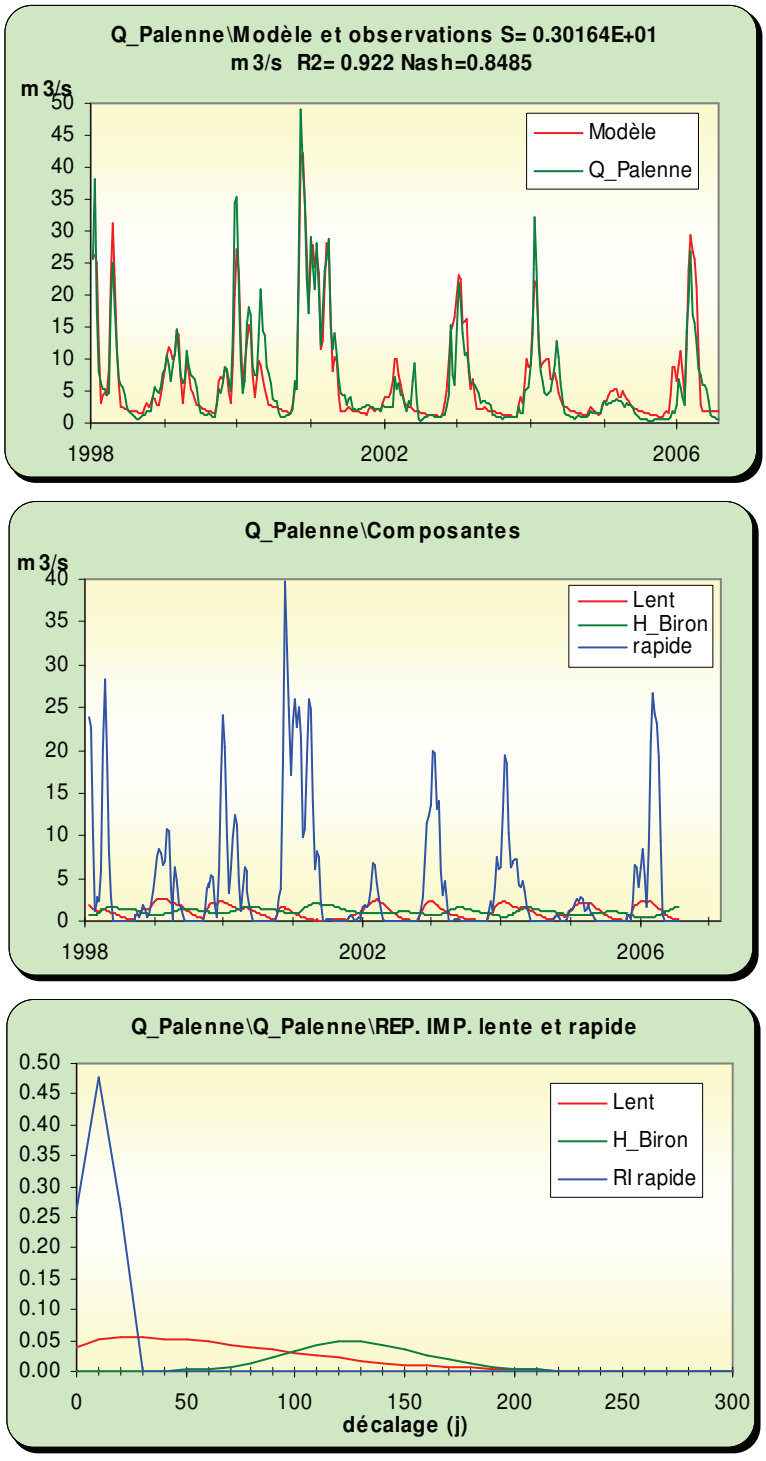
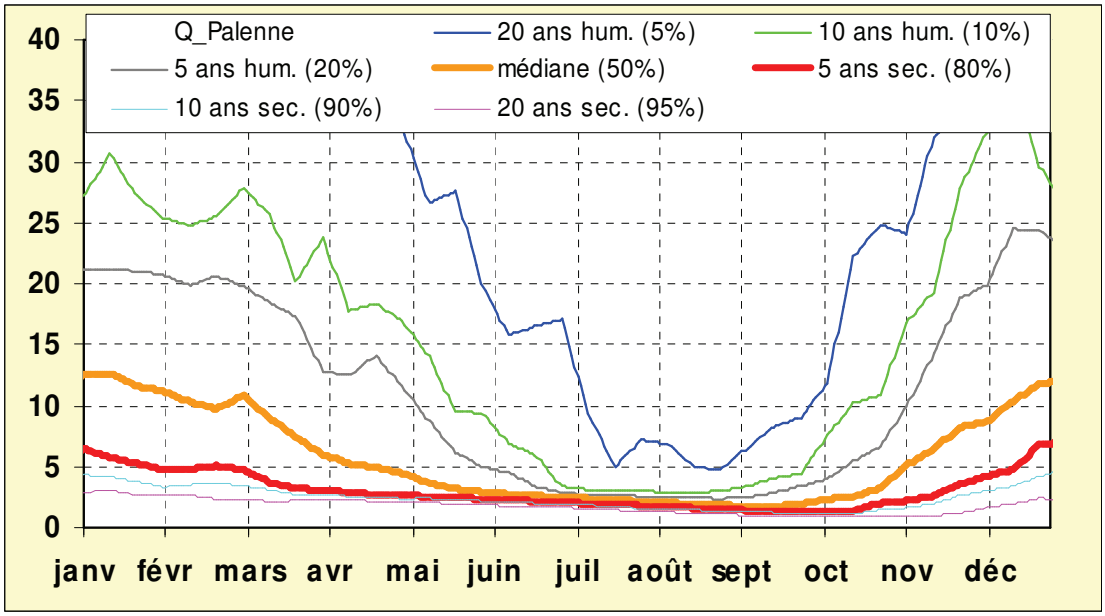


Illustration 150 : Modélisation de la station de St-Seurin-de-Palenne de haut en bas : superposition du modèle sur la chronique, les différentes composantes, analyse impulsionnelle des composantes.



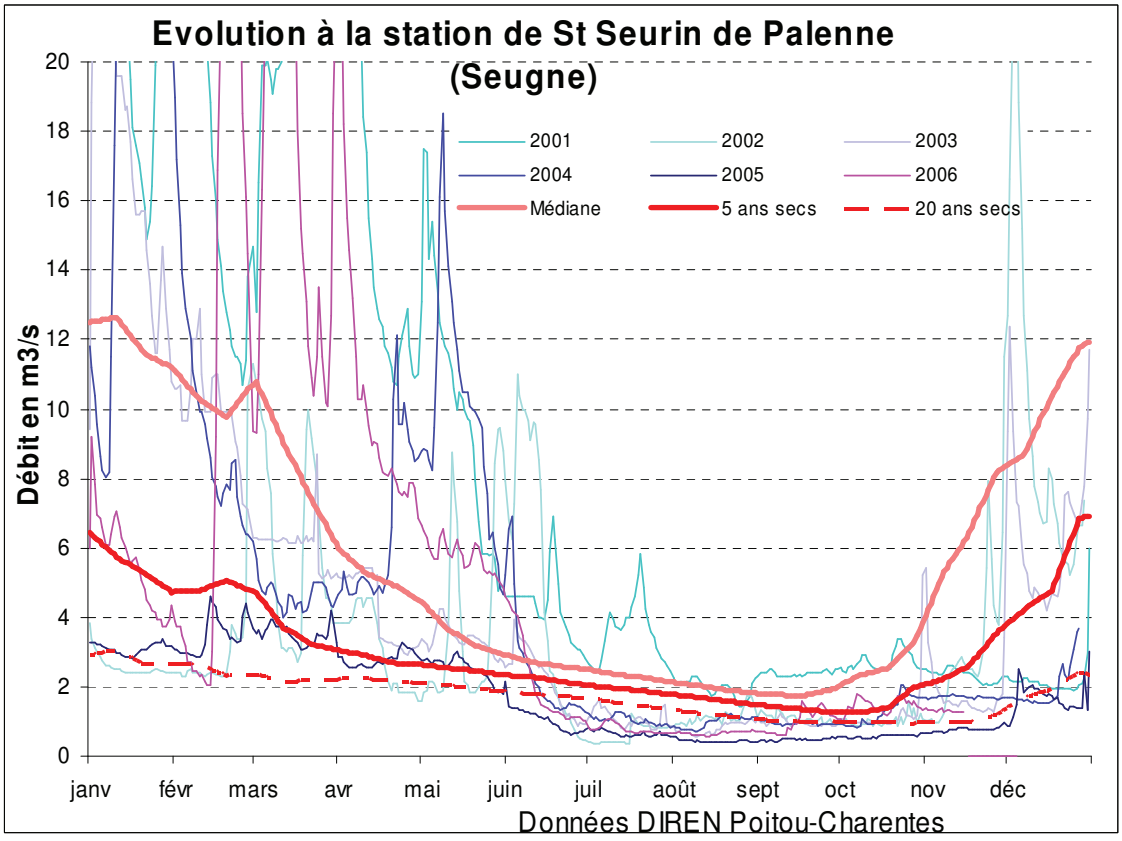


Illustration 151 : Utilisation du modèle de la station de St-Seurin-de-Palenne en prévision : en haut courbes théoriques avec période de retour, en bas superposition des courbes médiane, 5 et 20 ans secs sur les chroniques annuelles.

Station de St-Savinien

Située à l'aval de la prise d'eau de l'UNIMA, servant à alimenter les marais de Rochefort d'une part, la distribution d'eau potable d'autre part, la station de St-Savinien permet de mesurer les débits aval de la Charente. Par rapport à Chaniers, se rajoutent principalement les apports du bassin versant de la Seugne.

Cette station est intégrative de tous les phénomènes hydro(géo)logiques du bassin versant de la Charente. De plus elle est soumise à l'influence des marées.

Malgré une chronique très courte, la modélisation de cette station a été entreprise. Compte tenu d'une période d'observation également trop courte sur Chaniers, la station et le modèle de Jarnac ont été utilisés en entrée pour représenter le débit amont de la Charente. Jarnac a été complété avec les débits du Né à Salle d'Angle et ceux de la Seugne à St-Seurin-de-Palenne. La composante nappe est représentée par le piézomètre de Poussardière au Cénomanien.

Ce sont les débits de Jarnac qui expliquent principalement les débits à St-Savinien. Le signal nappe du piézomètre de Poussardière est insignifiant. Enfin, il existe des composantes lente et rapide, non négligeables, qui correspondent à des signaux non expliqués par les courbes d'entrée.

Il est à noter que l'impact des lâchers ne se lit plus du tout sur les chroniques. Aucune fonction lâcher n'a été introduite dans le modèle qui les prend donc en compte implicitement.

Utilisé en prévision, le modèle donne un débit 5 ans secs de l'ordre de 17 m^3/s. Il existe donc un écart important entre les courbes théoriques données par le modèle et le DOE de 12 m^3/s d'une part, avec les quelques années de mesures disponibles d'autre part. Il existe aussi un écart entre la somme des débits 5 ans secs à Chaniers et Palenne (14.7 m^3/s au total) et le débit correspondant à St-Savinien.

Ces résultats sur St-Savinien sont donc à considérer avec prudence du fait :

- de la courte période d'observation utilisée pour la modélisation,

- de la prise en compte implicite dans le modèle des lâchers et des phénomènes de marées,

- mais en revanche de la non prise en compte par le modèle de la dérivation du canal de l'UNIMA et des prélèvements dans le bassin versant.

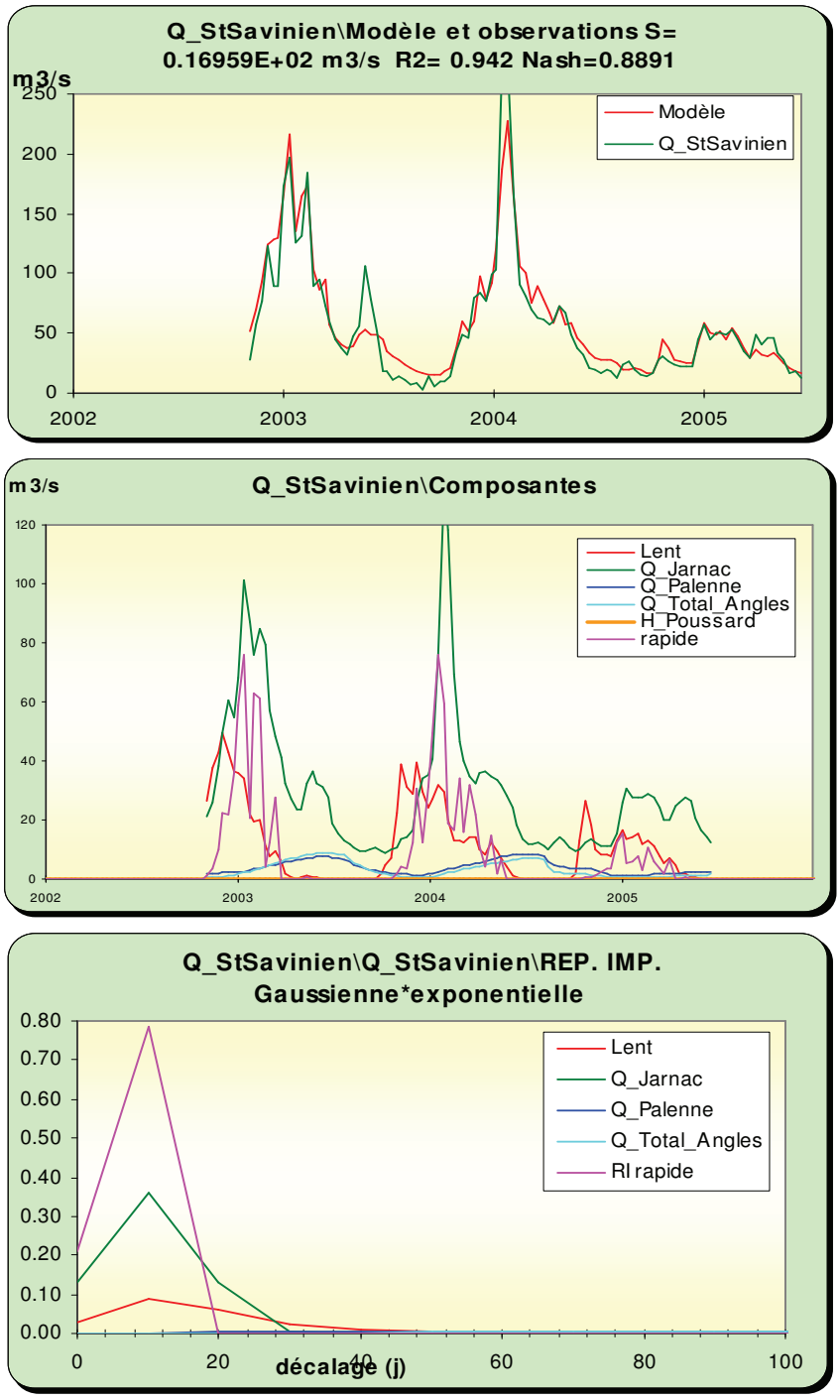
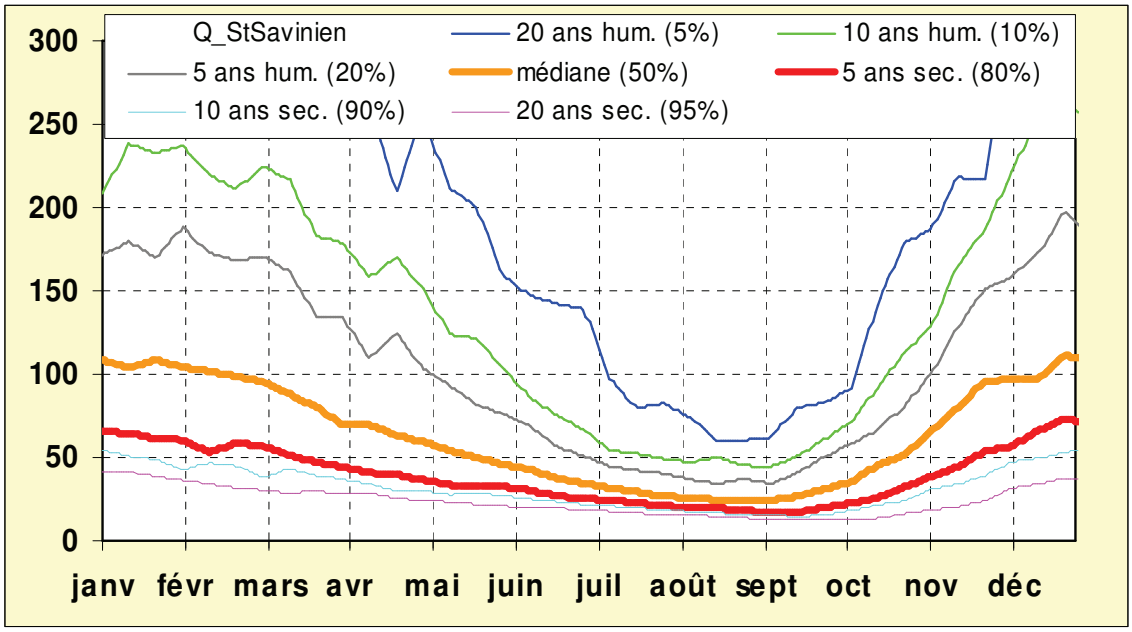


Illustration 152 : Modélisation de la station de St-Savinien de haut en bas : superposition du modèle sur la chronique, les différentes composantes, analyse impulsionnelle des composantes.



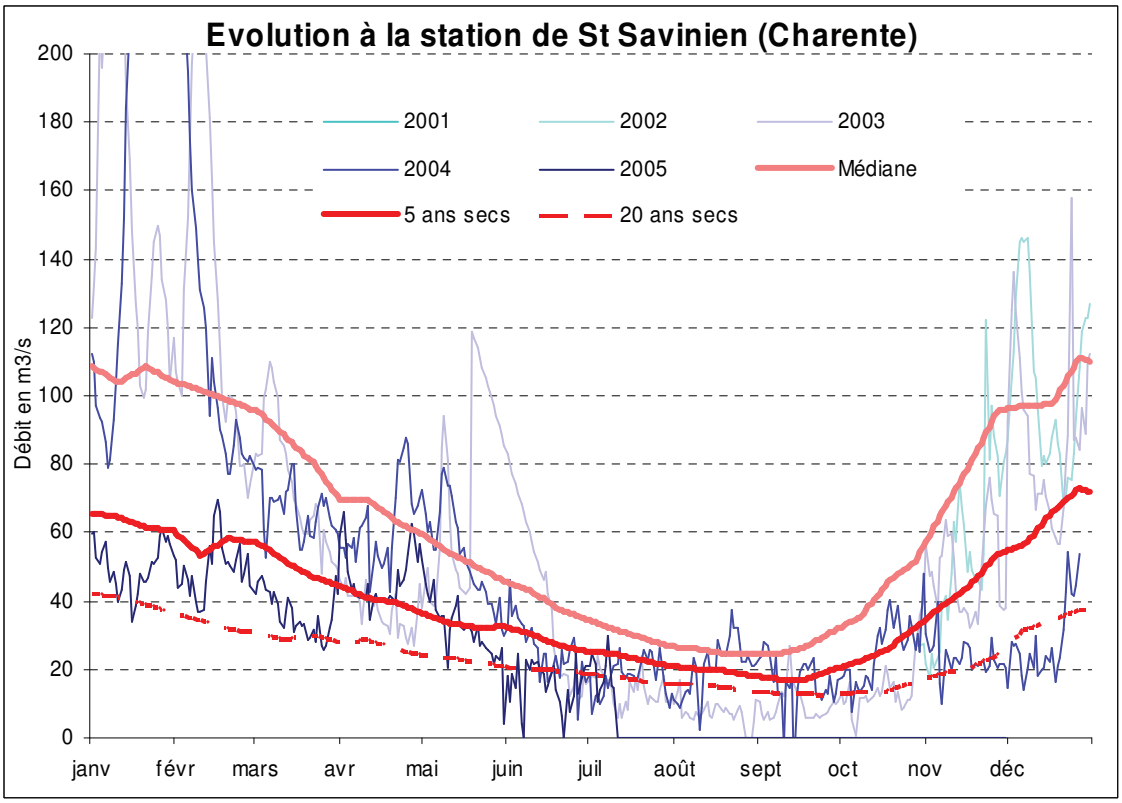


Illustration 153 : Utilisation du modèle de la station de St-Savinien en prévision : en haut courbes théoriques avec période de retour, en bas superposition des courbes médiane, 5 et 20 ans secs sur les chroniques annuelles

5. Approche sur les volumes disponibles

Le calcul des volumes disponibles a été réalisé par rapport aux objectifs de débit sur les stations hydrométriques : les DOE quand ils existent, les DOC proposés par le Plan de Gestion des Etiages de la Charente.

Ces volumes sont aussi évalués par rapport au DCR. Dans tous les cas, le calcul a été fait par rapport à la situation 5 ans secs de manière à évaluer ces volumes pour respecter les objectifs 4 années sur 5.

Il est important de rappeler que les courbes théoriques restituées par le modèle sont lissées sur 10 jours et que les volumes sont calculés par rapport à un scénario d'exploitation. Les comparaisons des courbes théoriques avec les chroniques de mesures montrent parfois que les objectifs ne sont pas atteints sur de courte période alors qu'ils devraient l'être d'après les résultats de la modélisation qui n'intègre pas les aspects aléatoires des phénomènes : calendrier et importance des lâchers, variation des prélèvements…

Le *Tableau 3* présente la synthèse des résultats et la carte (Illustration 154) illustre la répartition géographique de chaque station.

Chaque station est détaillée ci-dessous.

Station de Charroux

Comme aucun objectif n'est donné pour cette station, les volumes n'ont pas été calculés.

Le débit d'étiage naturel de cette station est très faible ce qui entraîne un débit spécifique également faible. En période estivale, il n'y a pas d'accroissement de débit entre Suris et Charroux, les pertes vers le milieu souterrain compensant les apports. L'efficacité des lâchers de barrage est maximum à Charroux ou l'on retrouve la quasi-totalité des volumes libérés.

Station de St-Saviol

L'efficacité des lâchers commence à s'amortir, « diluée » par les importants apports des nappes, surtout celle du Dogger.

Le débit complémentaire proposé par le PGE apparaît faible par rapport au débit (équivalent du QMNA5) donné par le modèle et qui n'intègre pas les lâchers. Le volume disponible pour respecter le DOC 4 année sur 5 est donc important, supérieur à 25 Mm^3 si l'on tient compte des lâchers. Si l'on ne tient pas compte des lâchers, le disponible équivaut à peu prés aux prélèvements agricoles pour une année moyenne.

Le DOC est même respecté en année très sèche.

Aunac

Sur cette station située à l'aval du domaine des calcaires du Dogger et de l'infra-Toarcien, le volume théorique « naturel » d'étiage en année sèche est presque multiplié par 3 par rapport à St-Saviol. La superficie du bassin versant s'accroît très sensiblement entre ces deux stations. De plus les nappes du Dogger et dans une moindre mesure de l'Infra-Toarcien contribuent au soutien de la rivière.

En l'absence d'objectifs de débit, les volumes disponibles n'ont pas pu être calculés.

L'efficacité des lâchers est encore visible sur les chroniques de mesures.

Luxé

L'impact des lâchers est difficilement perceptible sur les chroniques.

Le DOC du PGE apparaît très bas par rapport au débit en année sèche calculé par le modèle. Si l'on tient compte des lâchers, ce serait 40 Mm^3 de volume disponible 4 années sur 5, ce qui est très nettement supérieur aux prélèvements actuels en nappe et en rivière.

Toutefois, l'impact des lâchers de barrages amont est difficilement perceptible sur les chroniques de débits. Aussi il est possible que sur cette station le modèle intègre implicitement une partie de ces lâchers ce qui conduit à moduler le chiffre du paragraphe précédent.

Vindelle

Il découle de cette modélisation qu'entre Luxé et Vindelle l'accroissement des débits d'étiage serait naturellement faible. Le modèle donne en année sèche un écart de l'ordre de 0.5 m^3/s, malgré un accroissement sensible de la superficie du bassin versant. Le cours de la Charente et les secteurs aval des rivières comme l'Aume et la Couture constituent des zones « naturellement » humides (d'ailleurs riche en tourbières), à faible pente, dans lesquelles les rivières divaguent.

A l'image de Luxé, le DOE de 3 m^3/s est faible comparé à la valeur de 4.6 m^3/s donnée par le modèle. Le volume disponible serait donc très important sauf en période très sèche (cas de 2005) où il est de l'ordre de grandeur des prélèvements. Toutefois, comme pour Luxé, l'impact des lâchers estivaux est très amorti sur les chroniques et il est vraisemblable qu'une partie de ceux-ci sont implicitement pris en compte dans le modèle.

Feuillade et Montbron

Ces deux stations sont situées à l'amont du karst de la Rochefoucauld et des rivières Bandiat et Tardoire. Les prélèvements à l'amont de ces stations sont faibles et le calcul des volumes disponibles est peu significatif.

Sur Montbron, le modèle restitue un volume disponible de 8.6 Mm^3, très largement supérieur aux prélèvements.

Coulgens et Villebette

A contrario des 2 stations précédentes, Coulgens sur la Tardoire et Villebette sur la Bonnieure sont à l'aval des pertes de ces rivières vers le karst.

Les débits estivaux sont très faibles, voire nuls, et les objectifs sont à la limite de la sensibilité des modèles.

Le modèle de Villebette montrerait que les objectifs fixés (DOC) ne sont pas atteignables en période sèche et laisse pratiquement aucune marge en année humide.

Foulpougne

Bénéficiant du lissage des pluies réalisé par le réservoir tampon du karst, le modèle de cette station apparaît fiable. Le modèle lisse voire corrige les défauts des systèmes de mesures. Il restitue un débit d'étiage 5 ans secs nettement au-dessous du DOE, mais aussi nettement supérieur au DCR.

Il en résulte que le DOE n'apparaît pas réaliste en année sèche, même si l'on supprime tous prélèvements sur le bassin versant (y compris les prélèvements AEP de la Touvre). Toutefois, il devrait pouvoir être respecté en année humide.

En revanche le respect du DCR laisse des possibilités de prélèvement conséquentes en année sèche.

Il est intéressant de remarquer que les débits d'étiage 5 ans secs donnés par les modèles à Vindelle (4.6 m^3/s) et à Foulpougne (4.2 m^3/s) sont très proches, ce qui apparaît assez cohérent avec les débits observés en été et à mettre en corrélation avec les superficies estimées des bassins versants (2550 km^2 pour Vindelle et 1200 km^2 pour Foulpougne).

Jarnac

Le débit 5 ans secs résultat du modèle est un peu supérieur au débit d'objectif. En année sèche, le volume disponible est du même ordre de grandeur que les prélèvements et devient nettement supérieur si l'on intègre les lâchers.

Toutefois, ces volumes disponibles sont très variables en fonction de la pluviométrie de l'année. En année très sèche, la disponibilité est nulle, en année humide elle devient très élevée.

Salles-d'Angles

Selon le modèle, quasiment une année sur 2 le débit est nul. En année sèche les objectifs (DOE) ne peuvent être respectés même si tous les prélèvements étaient supprimés.

Il en est de même pour le DCR.

En année humide en revanche il reste des volumes disponibles même en considérant le niveau des prélèvements actuel.

Chaniers

Cette station a été mise en place récemment et ne présente pas d'historique suffisant pour garantir une modélisation fiable.

A titre indicatif, en l'absence d'objectifs approuvés, on a testé les possibilités par rapport à un débit de 10 m^3/s. Le volume disponible en année sèche serait alors de 42 Mm^3 qu'il faut comparer aux quelques 60 à 70 Mm^3 prélevés dans le bassin versant au-dessus de la station, dont environ 40 % pour l'AEP (dont tient implicitement compte le modèle) et 60 % pour l'agriculture.

St-Seurin-de-Palenne

Le débit en année sèche donné par le modèle est assez proche du DOE aussi les volumes disponibles pour respecter les objectifs 4 années sur 5 sont faibles. Comparé aux prélèvements agricoles actuels, le respect du DOE 4 années sur 5 nécessiterait 50 % de restriction sur les prélèvements en nappe comme en rivière.

Par rapport au DCR en revanche, la disponibilité reste supérieure aux prélèvements actuels, mais de même ordre de grandeur.

St-Savinien

Comme déjà souligné, du fait d'un historique très court et de l'impact des marées, des prélèvements et des lâchers amont, ce modèle est à considérer avec prudence. Il restitue un volume d'étiage 5 ans secs nettement supérieur au DOE. Le volume disponible est donc important. On notera aussi qu'il est très variable en fonction de la pluviométrie : considérable en année humide, négatif en année très sèche.*

Station	Cours d'eau	BV km^2	DOE ou *DOC* en m^3/s	DCR en m^3/s	QMNA5 donné par le modèle en m^3/s	Prélvts agricoles moyens par an en Mm^3 (réf.2004)	Prélvts AEP moyens par an en Mm^3 (réf.2003)	Volume (Mm^3) disponible (hors AEP) pour respect du				% de réduction des prélvts saisonniers pour respect du DOE 4/5 ans**	Commentaires
								DOE/DOC 4/5 ans	DOE/DOC 5 ans humides	DOE/DOC 20 ans secs	DCR 4/5 ans		
SURIS	CHARENTE	110											
CHARROUX	CHARENTE	346			0.19								Ce sont les lâchers de barrage qui font le débit l'été.
ST-SAVIOL	CHARENTE	492	*0.85*		1.2	6	1	6.7	16	3		0	L'impact des lâchers est "dilué" par les importants apports de la nappe du Dogger.
AUNAC	CHARENTE				3.5								Efficacité des lâchers encore visible.
LUXE	CHARENTE	3000	*2.7*		4.1	13	5	21	58	7.5		0	DOC faible par rapport aux possibilités "naturelles" – possible prise en compte par le modèle d'une partie des lâchers.
VINDELLE	CHARENTE	*2550****	3	2.5	4.6	15.5	7	28	117	9	37	0	DOE faible par rapport aux possibilités "naturelles" – possible prise en compte par le modèle d'une partie des lâchers.
FEUILLADE	BANDIAT	333	*0.29*		Non significatif								
MONTBRON	TARDOIRE	389	*0.57*		1.1			8.6	18	5			
COULGENS	TARDOIRE	1200			0.2								
VILLEBETTE	BONNIEURE	203	*0.06*		0.04			négatif	5.5	négatif		>100	
FOULPOUGNE	TOUVRE	*1200*****	6.5	2.8	4.2	5	12	négatif	23	négatif	28	>100	DOE irréaliste par rapport aux possibilités naturelles, en revanche DCR très bas.
JARNAC	CHARENTE	4160	10	5	11.4	22	23	28	110	négatif	80	0	Volumes disponibles très variables en fonction de la pluviométrie de l'année.
SALLE-D'ANGLE	NE	602	0.4	0.13	0	1	1.2	négatif	5	négatif	-10	>100	Objectifs optimistes par rapport aux possibilités du milieu.
CHANIERS	CHARENTE	7412			12.5	30							Historiques courts.
PALENNE	SEUGNE	902	1	0.5	1.3	8	3	3.8	30	négatif	10	50	Par rapport aux objectifs, des économies de prélèvements sont à faire.
ST-SAVINIEN	CHARENTE	7560	12	5	17*	47		110	500	négatif	222		Historiques courts, influence des marées et des prélèvements.

** Impact des marées et des lâchers*

*** tient compte des lâchers pour la Charente*

****3750 de la fiche station – 1200 de Foulpougne*

*****Estimé dans une synthèse du BRGM*

Tableau 3 : Synthèse des résultats de la modélisation sur les volumes disponibles par rapport aux objectifs sur chaque station hydrométrique.

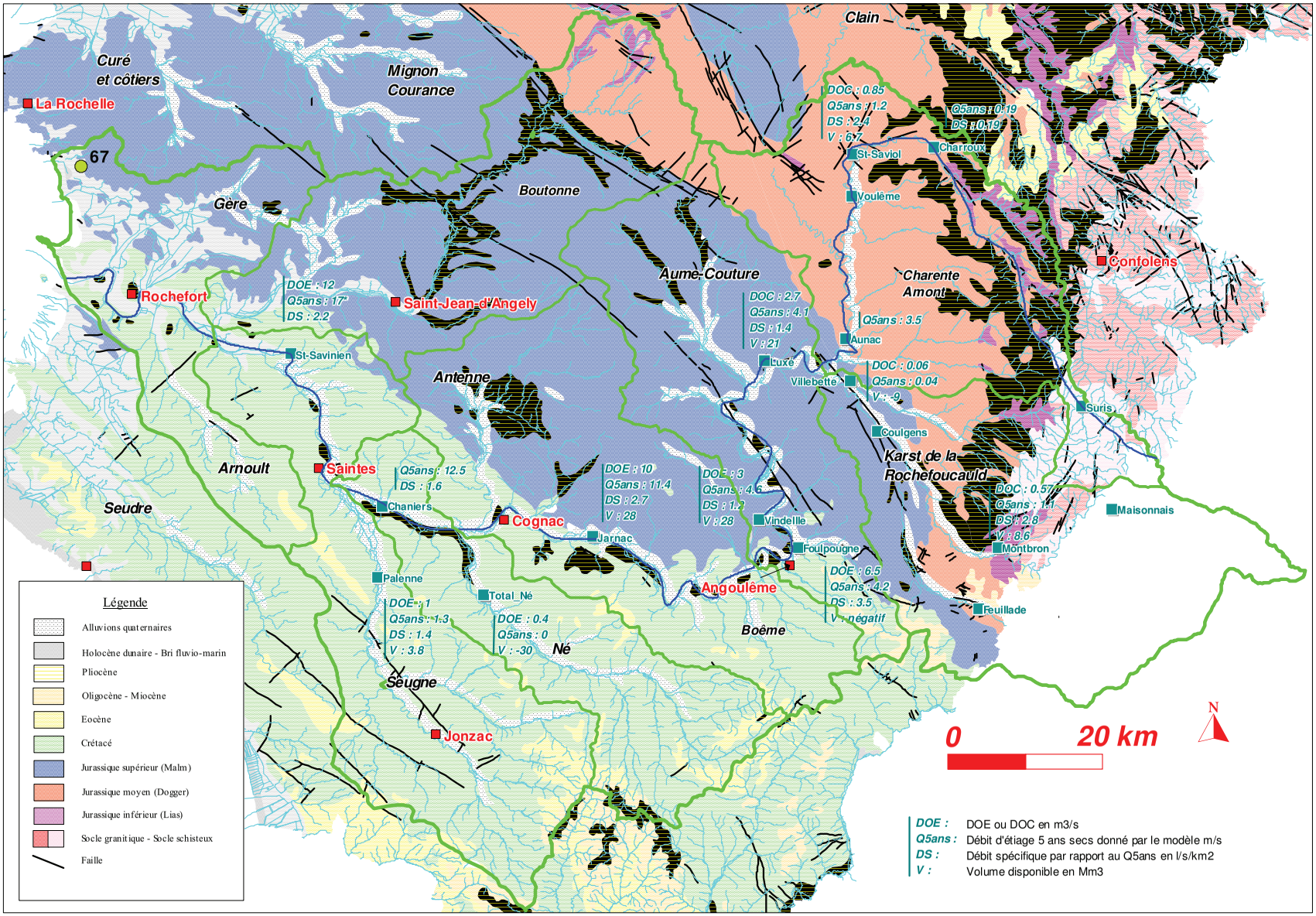


Illustration 154 : Localisation des stations hydrométriques avec les principaux résultats de la modélisation sur le fond géologique

6. Réflexion pour la gestion des prélèvements

6.1 PREAMBULE

La DIREN Poitou-Charentes a demandé ce travail au BRGM avec deux objectifs principaux en matière de gestion des prélèvements.

En premier lieu, il s'agissait, à travers une méthodologie reposant à la fois sur des outils fiables et rapides à mettre en œuvre, de disposer d'une approche globale sur la ressource disponible. C'est l'objet de la synthèse précédente qui donne non seulement des ordres de grandeur des volumes disponibles en fonction d'une approche statistique et d'objectifs de débit, mais aussi fait une analyse de l'adéquation de ces objectifs avec les capacités de la ressource. Ce travail doit être considéré comme une contribution venant alimenter les réflexions des gestionnaires.

En second lieu, la DIREN souhaitait disposer d'une analyse des chroniques piézométriques disponibles pour mieux évaluer la pertinence des indicateurs actuels utilisés en gestion. Les prélèvements agricoles sont en effet gérés actuellement par un certain nombre de seuils fixés sur des piézomètres et/ou sur des stations hydrométriques. Le bassin versant de la Charente est ainsi divisé en 33 zones de gestion (source : PGE Charente).

L'analyse conduite sur l'ensemble des chroniques complétée par la synthèse des éléments géologiques et hydrogéologiques nous amène à faire des propositions en matière de zone de gestion et d'indicateur. Ces propositions s'appuient sur des principes détaillés ci-dessous.

6.2 LES PRINCIPES

6.2.1 Découpage en zones de gestion

Le découpage des zones de gestion est principalement basé sur le croisement des bassins versants avec des unités homogènes d'un point de vue géologique et hydrogéologique. Ce découpage est aussi basé sur l'importance des relations nappe/rivière que le travail de modélisation met en lumière.

Ainsi est défini un ensemble de zones homogènes, déterminant autant « d'hydrosystèmes » associés à des objectifs de débits sur les rivières. Cette approche est aussi basée sur le constat d'une inertie faible de la plupart des systèmes aquifères, avec un impact rapide d'une pluie efficace, ce qui apparaît comme une des grandes caractéristiques de la région Poitou-Charentes.

A ce découpage géographique peut se superposer un découpage vertical lorsque les nappes profondes apparaissent relativement déconnectées des eaux de surface. C'est le cas du Turonien/Coniacien et du Cénomanien dans le Sud des Charentes.

6.2.2 Modalités de gestion

D'une manière générale, le travail d'analyse des chroniques met en lumière l'existence de 2 grands types de comportement.

Les piézomètres situés plutôt à l'amont des bassins versants pour lesquels on observe un comportement relativement « naturel » avec un faible impact des prélèvements et une courbe de vidange de l'aquifère durant le printemps et l'été avec des niveaux dépendant de l'état de remplissage de la ressource. Ce type de piézomètre est donc un bon indicateur de l'état de la ressource souterraine.

Les piézomètres situés à l'aval, au niveau des vallées, fortement impactés par les prélèvements soit d'une manière nette soit d'une manière plus diffuse et moins évidente sur les chroniques de mesures. L'évolution des niveaux sur ces piézomètres est souvent encadrée par des seuils hauts, dits de débordement, et bas, niveau de base imposé par la rivière.

Cette typologie concerne principalement les nappes en relation étroite avec les rivières. C'est en particulier le cas du Jurassique supérieur. Pour les nappes profondes ou pour le karst de la Rochefoucauld, on observe des comportements un peu différents. Il s'agit souvent de nappes dont le niveau est contrôlé par des émergences comme c'est le cas pour les sources de la Touvre. Les niveaux piézométriques sont révélateurs d'un réservoir plus ou moins plein et les évolutions de niveaux enregistrées sont en général très dépendantes de la pluviométrie.

Cette analyse nous a conduit à repérer les piézomètres peu influencés et bon indicateur de l'état de la ressource, en général situés à l'amont des bassins versants, et présentant de préférence des battements annuels importants. Pour chaque zone de gestion un (dans certain cas plusieurs) piézomètre est sélectionné et proposé en gestion.

Sur cet indicateur de l'état de la ressource souterraine, la courbe 5 ans secs (respectée 4 années sur 5) pourrait être utilisée en gestion. La courbe médiane pourrait permettre de fixer des niveaux d'alerte. Il est évident qu'utiliser en gestion une courbe présenterait l'avantage d'être mieux adapté au comportement de la ressource. L'utilisation actuelle de seuils fixes n'est en effet pas satisfaisante de ce point de vue là.

Compte tenu des relations des nappes avec les rivières, nous recommandons de coupler cet indicateur de l'état de la ressource souterraine avec des seuils de débit sur les rivières, en dehors des zones en nappe profonde.

Parallèlement, ce dispositif pourrait être complété par un ou plusieurs autres indicateurs permettant de gérer des problématiques locales : protection d'un forage AEP, assèchement d'un cours d'eau ou d'une source, assèchement d'une zone humide… Ces autres indicateurs pourraient être des forages ou des débits de source.

6.3 LES ZONES DE GESTION

Charente amont

Cette zone correspond à la partie amont du bassin versant de la Charente située sur des terrains du Jurassique inférieur (Lias) et moyen (Dogger). Cette zone est caractérisée d'un point de vue hydrogéologique par la superposition de l'aquifère karstique des calcaires du Dogger, en général libre, sur l'aquifère de l'Infra-Toarcien en général captif sous les marnes du Toarcien.

C'est une zone de plateaux calcaires où la Charente reçoit latéralement d'importante quantité d'eau de la nappe du Dogger.

La nappe du Dogger présente en général une inertie plus faible, avec un maximum d'impact d'une pluie au bout de 2 mois en moyenne et le passage complet d'une pluie au bout de 6 mois, par rapport à la nappe de l'infra-Toarcien plus profonde (3 mois et 1 an en moyenne). Toutefois, elles montrent des comportements parallèles soulignant des contacts via les réseaux de fractures particulièrement denses dans tout ce secteur amont.

Cette interconnexion conduit à proposer une gestion commune des deux nappes. Il est de plus difficile de garantir, lorsque les deux nappes existent en un même lieu, qu'un ouvrage à l'Infra-Toarcien ne capte pas aussi la nappe du « supra-Toarcien ». C'est d'autant plus vrai sur le long terme du fait de la dégradation des tubages.

La Charente formant un niveau de base pour la nappe du Dogger, il est proposé de subdiviser cette zone amont en :

Une zone **Charente amont et rive gauche**, correspondant aux plateaux calcaires situés au sein de la boucle de la Charente, et incluant les bassins versants du Son-Sonnette et de l'Argentor-Izonne. Par souci de simplification, cette zone intègrerait la rive droite de la Charente jusqu'à la hauteur de Charroux ainsi que l'extrémité amont du bassin versant situé sur le socle. Les 2 piézomètres, dont les chroniques ont été analysées et modélisées, ne sont pas satisfaisants pour la gestion. On recommande donc la recherche d'un piézomètre de préférence dans la partie centrale du plateau calcaire.

Une zone **Charente rive droite**, comprenant la partie du bassin versant entre le Clain et la Bouleure ainsi que le bassin de la Péruse. Le piézomètre proposé est celui de Limalonges.

Pour les deux zones qui composent Charente amont, l'indicateur de débit pourrait être choisi à la station d'Aunac située à l'aval de ces systèmes et plus intégrative que celle de St-Saviol.

Aume-Couture-Charente moyenne

Cette vaste zone correspond aux bassins versants sur substratum de Jurassique supérieur situés à l'amont d'Angoulême. La station de Vindelle est proposée comme

indicateur de débit. Le piézomètre de Villiers (cf. tableau 4) est un bon indicateur de l'état de la ressource. Celui de Montigné donne aussi une bonne image du niveau de la nappe.

Ce domaine est relativement homogène avec une nappe du Jurassique supérieur en étroite relation avec les rivières.

L'inertie de cette nappe, limitée à une frange superficielle altérée et fissurée, est faible avec un maximum d'impact d'une pluie au bout d'environ 1 mois et le passage complet de cette pluie au bout de 6 mois. Les stocks souterrains sont peu importants.

A l'amont des bassins versants, les piézomètres, en général peu impactés par les prélèvements, sont de bons indicateurs de l'état de la ressource souterraine. La nappe se vidange en fonction d'un niveau plus ou moins haut atteint au printemps. Dans ces parties amont, les rivières s'assèchent corrélativement à cette baisse de la nappe.

Dans les parties aval, assez plates où les rivières s'anastomosent et divaguent, les eaux de la nappe jurassique convergent pour former des zones humides. Durant l'été, la nappe est normalement en équilibre avec les rivières, avec des gradients piézométriques faibles voire nuls. Les prélèvements peuvent faire baisser le niveau de la nappe sous le niveau de la rivière ce qui peut aller jusqu'à l'assèchement. La protection d'une rivière ou d'une zone humide pourrait donc nécessiter l'utilisation en gestion de seuils sur des piézomètres complémentaires.

Cette zone de gestion regroupe les bassins versants du Bief, de l'Aume, de la Couture, de l'Auge, de l'Argence et la vallée de la Charente sur le tronçon entre Mansle et Angoulême. Elle concerne aussi la nappe alluviale. En profondeur, les nappes du Dogger et de l'Infra-Toarcien sont peu reconnues et exploitées. Dans l'état actuel des connaissances, elles sont intégrées à cette zone de gestion.

Le karst de la Rochefoucauld

Cette zone est délimitée au Nord par l'interfluve entre le Son-Sonnette et la Bonnieure, à l'Ouest par la limite des faciès récifaux du Jurassique supérieur, au Sud par la vallée de l'Echelle et les terrains du Crétacé supérieur, à l'Est par le socle du Massif Central.

Il est proposé une gestion globale de la ressource en eau de ce karst, intégrant les eaux souterraines du Dogger et du Jurassique supérieur karstique, ainsi que les eaux plus profondes de l'Infra-Toarcien, du moins dans l'état actuel des connaissances.

En l'absence d'un suivi des sources de la Touvre, le débit à Foulpougne apparaît comme le meilleur indicateur de débit. En ce qui concerne le suivi du niveau de la ressource souterraine, les piézomètres de St-Projet, La Rochefoucauld ou Bouex sont bien adaptés. Une préférence va toutefois vers le dernier qui est peu impacté par les prélèvements mais présente l'inconvénient d'être excentré par rapport au massif karstique.

Parallèlement le piézomètre de Mornac pourrait être un bon indicateur local du gradient autour des sources de la Touvre.

Le karst de la Rochefoucauld est un vaste réservoir souterrain aux réserves vraisemblablement importantes. Les calculs des hydrogéologues concernant les quantités de matière dissoutes et les phénomènes karstiques en surface suggèrent des conduites karstiques très développées et d'importantes dimensions.

La rivière Touvre correspond à des sources de débordement de l'aquifère et représente plus de la moitié du débit de la Charente l'été à Angoulême. Une petite baisse du niveau piézométrique entraîne une importante baisse de débit.

Antenne- Soloire-Nouère

Cet ensemble correspond aux bassins versants sur substratum de Jurassique supérieur en rive droite de la Charente entre Angoulême et Cognac.

Cette zone est assez semblable à la zone Aume-Couture-Charente moyenne à la différence toutefois de comporter dans son cœur des niveaux à la fois aquifères dans le Tithonien inférieur et moyen, et argileux dans le Tithonien supérieur. Ces terrains argileux imperméables constituent une zone basse, plate, dans laquelle les rivières serpentent. Ces argiles maintiennent captif l'aquifère du Tithonien. A la périphérie, le contexte des zones amont est semblable à ce que l'on trouve dans la zone de gestion de l'Aume-Couture-Charente moyenne.

Le piézomètre de Ballans, de type « amont », n'est pas impacté par les pompages et apparaît bien adapté pour suivre l'état de la ressource souterraine. Dans une moindre mesure, celui de Juillers également.

En ce qui concerne la Charente, les stations de Jarnac ou de Chaniers pourraient servir de référence.

Sud-Angoumois rive gauche

Cette zone correspond aux formations du Crétacé supérieur en rive gauche de la Charente, d'Angoulême à Cognac. Elle incorpore les bassins versants des rivières principalement alimentés par les apports de la nappe du Turonien-Coniacien ou du Cénomanien. Elle est délimitée au Sud par les bassins versants du Né, de la Tude, de la Lizonne.

Cette zone intègre les nappes, en général libres, des formations marneuses superficielles du crétacé supérieur, du Turonien-Coniacien, du Cénomanien.

La station de Jarnac est proposée comme référence pour les débits. Le piézomètre de Rouffiac, qui contrairement aux autres piézomètres du secteur est peu impacté par les pompages, est proposé pour l'état de la ressource. Avec des battements annuels importants il est particulièrement bien adapté à la gestion.

Né (superficiel)

Dans le bassin versant du Né, on trouve à l'amont des recouvrements tertiaires sablo-argileux, plus ou moins perméables d'où la présence d'étang, qui peuvent cependant stocker de l'eau. L'essentiel du bassin versant correspond à des marnes et calcaires de la partie supérieure du Crétacé. Il existe dans une frange altérée et fissurée superficielle une nappe libre peu productive en relation étroite avec les rivières.

La modélisation de la station hydrométrique de Salles-d'Angles n'a pas montré de relation importante du Né avec la nappe du Turonien ni à travers le piézomètre de Rouffiac, ni à travers celui de Salignac. Ces observations conduisent à proposer une gestion différente des nappes superficielles et du Né, correspondant à la présente zone, de celle de la nappe profonde du Turonien associée à une zone plus vaste jusqu'aux limites de la région.

En ce qui concerne l'état de la ressource souterraine des nappes superficielles, un piézomètre reste à rechercher. La station de Salles-d'Angles peut servir comme référence pour les débits.

Seugne (superficiel)

A la différence du bassin du Né, où la nappe profonde du Turonien-Coniacien n'est pas directement en relation avec la surface, la Seugne coule sur ces formations du Crétacé supérieur entre Jonzac et Pons. En effet, le cœur de l'anticlinal de Jonzac ouvre là une fenêtre sur cette nappe qui contribue significativement à l'alimentation des cours d'eau.

Parmi les 3 piézomètres profonds captant la nappe du Turonien captive de ce bassin versant, celui de Biron malgré l'impact de prélèvements AEP donne une bonne image de l'état « naturel » de la ressource souterraine et pourrait être couplé pour la gestion avec la station de St-Seurin-de-Palenne.

Ces modalités de gestion concernent la nappe du Turonien-Coniacien, et celle du Cénomanien (hors parties profondes) et les nappes superficielles du bassin versant au sein des alluvions, du Tertiaire ou du Crétacé supérieur.

Arnoult

Le bassin versant de l'Arnoult est à peu prés dans la même situation hydrogéologique que celui de la Seugne. Le substratum du bassin versant est en grande partie constitué par des formations allant du Cénomanien au Coniacien.

Parmi les 3 piézomètres à la nappe du Turonien-Coniacien, celui de Bridon (toutefois récemment démonté) est celui qui apparaît le mieux adapté pour suivre l'état de la ressource souterraine. Il présente des évolutions piézométriques bien différenciées en fonction de la pluviométrie et n'est apparemment pas impacté par les prélèvements. A défaut de Bridon, celui de St-Agnant pourrait aussi être utilisé.

En ce qui concerne l'état des eaux de surfaces, il manque une station de mesures sur l'Arnoult.

L'ensemble des aquifères de ce bassin versant, du Crétacé supérieur au Quaternaire, sont concernés par ces modalités de gestion proposées.

Charente aval – Crétacé en rive droite

Les petits bassins versants sur substratum crétacé en rive droite de la Charente entre Cognac et Rochefort présentent une certaine unicité. Les rivières sont alimentées par des sources sortant du Cénomanien ou du Turonien-Coniacien.

Parmi les 2 piézomètres (au Cénomanien) de ce secteur, celui de la Poussardière, le moins impacté par les pompages, paraît le mieux adapté pour suivre l'état de la ressource souterraine. La station de Chaniers pourrait être couplée à ce piézomètre.

Charente aval – Jurassique supérieur

Cette zone couvre toute la partie aval du bassin versant de la Charente : marais de Rochefort, bassins versants de la Devise et de la Gère. D'un point de vue géologique et hydrogéologique, elle rassemble :

- un territoire de marais avec du Bri quaternaire argileux reposant sur un substratum essentiellement crétacé qui forme localement des « îles » émergeant du Bri,

- pour l'essentiel, des bassins versants sur substratum de Jurassique supérieur avec des relations fortes entre la nappe superficielle du Jurassique supérieur et les rivières.

Le contexte du Jurassique supérieur est similaire à celui rencontré dans les bassins de l'Aume-Couture par exemple. Parmi les 2 piézomètres analysés, seul celui de Breuil-la-Réorte est satisfaisant pour donner une bonne image de l'état de la ressource souterraine. Comme pour le bassin précédent, il pourrait être couplé à la station de Chaniers à défaut de mieux.

Zone de gestion	Piézomètre	Nappe	Prof. en m	Seuil débord. m NGF	Seuil bas m NGF	Seuil critique m NGF	Impact pompages	Tendance	Battement annuel "naturel"	Battement annuel influencé	Pic comp. Rapide	Pic comp. lente	Retour état initial	Niveau étiage 5 ans secs en m NGF	Niveau étiage médiane en m NGF	Typologie piézomètre	Commentaires
CHARENTE AMONT RIVE GAUCHE	ALLOUE	Infra-Toarcien	70	54				oui	1.5 m		Non	3 mois	2 ans				Présence d'une tendance qui impacte les prévisions.
	MOUTON	Infra-Toarcien	350					oui	5 m			3.5 mois	10 mois				Présence d'une tendance qui impacte les prévisions.
CHARENTE AMONT RIVE DROITE	LEMAIRE	Infra-Toarcien	166	115			important		9 m	22 m	Non	6 mois	1 an	108	112		Calage du modèle très moyen.
	LIMALONGES	Dogger	36	115					10 m		10 j	3 mois	6 mois	107.5	108	Amont	Piézomètre pouvant être utilisé pour l'état de la ressource.
	SAUZE	Dogger	23				important		13 m	19 m	20 j	1.5 mois	4 mois	117	118.5		Caractérise peu l'état de la ressource, moyen pour gestion.
	RUFFEC	Dogger	37	96.5	87.5	87.5			9 m		20 j	2 mois	5 mois	88	88.5	Aval	Moins bon pour la gestion que LIMALONGES.
	CONDAC	Dogger	19						1 m			1 mois	6 mois			Aval	Fortement contraint par la Charente.
	LORIGNE 1	Dogger	12.5				Faible		9 m	10 m	20 j	3 mois	8 mois	128	128.7	Amont	Faible impact des pompages visible sur les courbes.
	LORIGNE2	Infra-Toarcien	100	130			Moyen		9 m	12 m		2.5 mois	1 an	122	123	Amont	Comportement très proche de LORIGNE1, impact plus important des pompages.
	SALLES-VI.	Dogger	114	Diffus	68	68 m			17 m		15 j	10 j	6 mois	68	69	Aval	Piézomètre trop atypique pour utilisation en gestion.
AUME-COUTURE CHARENTE MOY.	BELLICOU	Dogger	124	70			Moyen		2 m	2.5 m	10 j	3 mois	6 mois	68.8	68.9	Aval	Contrôle du niveau piézométrique par la rivière Bief.
	LONGRE	Jurassique sup.	30	76			Moyen				10 j	1 mois	6 mois	71	71.5	Amont	Utilisable mais qualité moyenne du piézomètre pour la gestion.
	ST-FRAIGNE	Jurassique sup.	100	80.5		75	Moyen		6 m	7 m		1 mois	6 mois	75.8	76.3	Aval	En relation avec la rivière.
	VILLIERS	Jurassique sup.	30	100.5					12 m			1 mois	7 mois	89	90	Amont	Ce piézomètre peut être utilisé pour suivre l'état de la ressource.
	AIGRE	Jurassique sup.	26	65.3			important		1 m	2 m		1 mois	6 mois	64.6	64.7	Aval	Palier autour de 65 m NGF (soutien par la rivière).
	MONTIGNE	Jurassique sup.		86	82				4 m		10 j	20 j	4 mois	82.5	82.7	Amont	Ce piézomètre donne une assez bonne image de l'état de la nappe.
	VOUILLAC1	Jurassique sup.	10	39.5			important		1.5 m	2 m	10 j	1 mois	6 mois	38.7	38.7		Niveau contrôlé par l'Argence.
KARST DE LA ROCHEFOUCAULD	FEUILLADE1	Dogger	32.5									6 mois	3 ans	95.5	98		
	FEUILLADE2	Infra-Toarcien	177														Niveau plus ou moins constant autour de 105.7 m NGF.
	CHAZELLES	Dogger	130	75		48		oui	20 m	25 m		2 mois	1 an				La tendance fausse les prévisions.
	ST-PROJET	Dogger	98	72		48	Moyen		20 m	25 m	10 j	1 mois	6 mois	52	54		Malgré l'impact des pompages donne une bonne image de l'état de la ressource.
	ROCHEFOUCAULD	Dogger	103	78		48	Moyen		29 m	32 m		2 mois	7 mois	48	50		Malgré l'impact des pompages donne une bonne image de l'état de la ressource.
	BOUEX	Dogger	288		54		Non		15 m		15 j	3.5 mois	10 mois	55	55.8		Ce piézomètre caractérise bien l'état de la ressource, de plus il n'est pas impacté par les pompages.
	MORNAC	Jurassique sup.	158		47	46.5			4 m		10 j	2 mois	8 mois				Ce piézomètre présente l'avantage de donner le gradient autour des sources.
	AGRIS	Dogger	63	71		47	important		15 m	25 m		1.5 mois	6 mois	56	57		
	AMANT	Dogger	85		65		Moyen		10 m	13 m	12 j	2 mois	8 mois	65.2	65.7		
ANTENNE, SOLOIRE, NOUERE	JUILLERS	Jurassique sup.	50	60	46				15 m			1 mois	5 mois	46.5	47.5	Amont	Bon indicateur de la ressource malgré un soutien temporaire de la nappe par les cours d'eau à la fin du printemps.
	BALLANS	Jurassique sup.	30	67.6	48.2				19.5 m		12 j	25 j	4 mois	48.2	49	Amont	Ce piézomètre est un bon indicateur de l'état de la ressource.
	LUNESSE	Jurassique sup.	4	43.5	42.6	42.5	important		1 m	1.5 m		20 j	4.5 mois	42.6	42.6	Aval	Niveau piézométrique très contraint par la Nouère.

Zone de gestion	Piézomètre	Nappe	Prof. en m	Seuil débord. m NGF	Seuil bas m NGF	Seuil critique m NGF	Impact pompages	Tendance	Battement annuel "naturel"	Battement annuel influencé	Pic comp. Rapide	Pic comp. lente	Retour état initial	Niveau étiage 5 ans secs en m NGF	Niveau étiage médiane en m NGF	Typologie piézomètre	Commentaires
SUD-ANGOUMOIS RIVE GAUCHE	DIGNAC	Turonien	120	149			important		11 m	15 m	10 j	20 j	5 mois	140.2	140.5	Amont	Impact sensible des pompages mais en diminution ces dernières années.
	TORSAC	Turonien	49		92		Moyen		3 m	3.5 m	10 j	3.5 mois	8 mois	91.8	91.8	Aval	Piézomètre assez complexe avec un étiage contraint par les eaux de surface et un impact des pompages.
	JUILLAGUET	Turonien	155				important		17 m	25 m	10 j	2 mois	5 mois	112.5	112.5	Amont	Impact important des prélèvements.
	ROUFFIAC	Turonien	107	120			Non		40 m			2 mois	10 mois	86	88	Amont	Ce piézomètre possède toutes les caractéristiques pour bien suivre l'état de la ressource : pas d'impact des pompages, battement annuel important, position amont dans le bv.
	CLAIX	Turonien	50						1 m								La modélisation de ce piézomètre n'a pas donné de résultat du fait d'une chronique trop courte.
NE	SALIGNAC	Turonien	140				Modéré		4.5 m	5 m	10 j	50 j	6 mois	3.5	3.5		Ce piézomètre pourrait être utilisé en gestion mais pour la nappe profonde du Turonien car il se corrèle mal à la station de Salles-d'Angles.
SEUGNE	BAIGNES	Turonien	468	46			important		8 m	16 m		3.5 mois	1.5 an	40	41		Impact de pompages.
	POMMIERS	Turonien	228	51	47		important		5 m	20 m		2.5 mois	10 mois	49.5	51		Impact de pompages.
	BIRON	Turonien	200	16.5	10.5		?		10 m		10 j	1.5 mois	10 mois	11	11.5	Amont	Ce piézomètre représente bien l'état de la ressource et pourrait être utilisé en gestion.
ARNOULT	LA CLISSE	Turonien	126		22.8		important		2.5 m	5.5 m	10 j	10 j	6 mois	22.8	22.9	Amont	Intérêt moyen pour la gestion.
	ST-AGNANT	Turonien	59		4	4			7 m		10 j	40 j	8 mois	4.4	4.8	Amont	Ce piézomètre donne une assez bonne image de l'état de la nappe et pourrait être utilisé en gestion.
	BRIDON	Coniacien							12 m		1 mois	6 mois	2 ans	9.4	11		Avec des évolutions piézométriques bien différenciées en fonction de la pluviométrie, cet ouvrage est bien adapté à la gestion.
CHARENTE AVAL CRETACE EN RIVE DROITE	ST-CESAIRE	Cénomanien	99				important		10 m	25 m		2.5 mois	10 mois	28	28.8		Piézomètre très impacté par les pompages.
	POUSSARDIERE	Cénomanien	66				Modéré		3 m	4 m	10 j	2 mois	1 an	16.2	16.3		Malgré des battements annuels faibles, ce piézomètre pourrait être utilisé en gestion.
CHARENTE AVAL JURASSIQUE SUP.	SALLE	Jurassique sup.	28		2		important		1 m	4 m		1 mois	3 mois	2.1 ?	2.2 ?	Aval	Forage très influencé, erreur de repère, ouvrage délicat à utiliser en gestion.
	REORTE	Jurassique sup.	72	25					10 m			2 mois	6 mois	16	18		Forage proposé pour la gestion.

Tableau 4 : Synthèse des résultats de modélisation des chroniques piézométriques, propositions pour la gestion

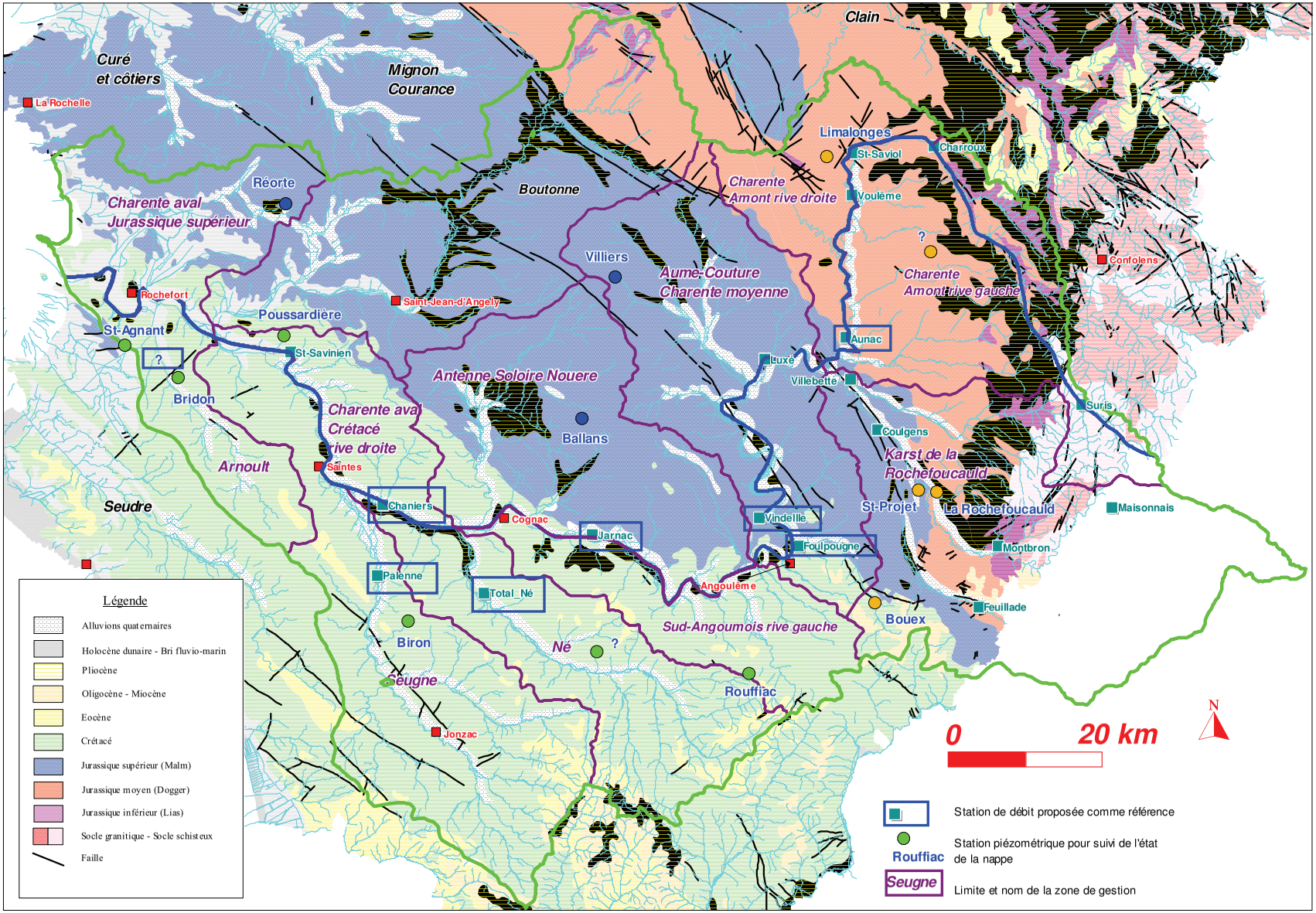


Illustration 155 : Carte de synthèse des zones de gestion proposées

7. Conclusion

Ce travail de phase 2 relatif au bassin de la Charente a bénéficié des nombreuses remarques faites par les gestionnaires et les experts dans le cadre de la phase 1. La méthodologie et même l'outil informatique ont été adaptés pour mieux répondre aux attentes.

En dehors de l'aspect analyse et compréhension des phénomènes hydro(géo)logiques qui découle de la modélisation, ces attentes sont de 2 ordres :

- en premier lieu, répondre à un objectif de gestion globale de la ressource en analysant d'une part l'adéquation des objectifs fixés sur les rivières avec les capacités du milieu, et d'autre part approcher les volumes disponibles en fonction de ces objectifs. Les chiffres avancés sont des ordres de grandeur de manière à donner des éléments de discussion. Il faut rappeler qu'ils sont issus de modèles qui par définition sont basés sur des situations « idéales » qui ne font pas intervenir le caractère aléatoire et irrégulier des phénomènes.

- en second lieu, faire une analyse critique des données disponibles à travers les réseaux de mesures utilisés en gestion et en dégager des propositions. Il s'agit là de problématiques liées à la gestion quotidienne des prélèvements agricoles.

La quasi-totalité des piézomètres du bassin versant a été analysée, soit 45 ouvrages, dépassant le cahier des charges initial. Il en est de même avec les stations hydrométriques avec 15 chroniques modélisées.

Compte tenu de l'artificialisation des débits à travers les stockages à l'amont du bassin versant, l'outil informatique a été adapté pour introduire une fonction lâcher. Cette fonction a permis de mieux représenter le fonctionnement du système et d'améliorer les calages des modèles. L'efficacité de ces lâchers en période de basses eaux est nette dans la partie amont du bassin versant jusqu'à la station d'Aunac. A partir de Luxé, ils apparaissent « dilués » du fait d'une part des pompages, d'autre part des apports importants du karst du Dogger.

Globalement, la modélisation des piézomètres conduit à préciser les relations nappe/rivière ainsi que l'inertie des systèmes. Cette inertie est d'une manière générale faible avec un impact très rapide des pluies sur les nappes souterraines. Il en découle aussi une typologie des piézomètres qui a servi pour la sélection des points proposés pour la gestion.

En ce qui concerne l'analyse des objectifs fixés sur les rivières à travers les DOE et DOC, il apparaît que ceux-ci sont relativement bas sur la Charente, ce qui devrait conduire à pouvoir les respecter en année moyenne et même en année sèche. En revanche, ces objectifs apparaissent difficiles à respecter pour le karst de la Rochefoucauld et pour le bassin du Né. Ils nécessitent des économies importantes sur les prélèvements pour le bassin de la Seugne.

En matière de gestion, 11 zones sont proposées pour le bassin de la Charente, associant la gestion des nappes et celle des rivières, auxquelles s'ajoutent les nappes profondes du Crétacé supérieur ainsi que le bassin de la Boutonne. Ces propositions vont donc dans le sens d'une nette diminution du nombre d'unités de gestion. Elles s'appuient sur une logique d'unicité du bassin versant croisée avec des zones « hydrogéologiquement » homogènes.

Pour chaque zone de gestion un indicateur de l'état de la ressource souterraine est proposé couplé avec un indicateur sur les débits de rivière. Dans certain cas, l'absence de piézomètre pour gérer une zone est soulignée.

Ce dispositif peut être complété par la mise en place d'indicateurs secondaires permettant de gérer les spécificités locales : non assèchement d'une source, protection d'un forage AEP… Ces indicateurs complémentaires (que l'on peut appeler « locaux ») peuvent être soit un piézomètre soit une source.

Ce travail, qui combine utilisation d'outils informatiques et statistiques avec une approche "naturaliste", connaît toutefois des limites. Il convient d'en souligner certaines :

- chroniques souvent trop courtes et/ou de mauvaise qualité. Les modèles devront être régulièrement actualisés ce qui devrait améliorer significativement les calages.

- difficultés de bien individualiser l'impact des pompages. Dans l'approche, les prélèvements AEP sont considérés comme implicitement pris en compte à la différence des prélèvements agricoles, saisonniers, modélisés à travers une fonction pompage.

- perturbation de la modélisation par des phénomènes soit anthropiques (lâchers de barrage, pompages…), soit naturels (débordement, soutien de la nappe par la rivière…).

Enfin, il faut une nouvelle fois rappeler que cette approche scientifique, qui vise à mieux cerner les disponibilités des ressources 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.

Annexe 1 Compilation (DIREN) des avis des hydrogéologues naturalistes

Remarques, question et conclusions des hydrogéologues naturalistes

S'agissant d'une synthèse des avis obtenus suite à la consultation d'hydrogéologues naturalistes, il est possible d'observer une forme de répétition via la convergence de plusieurs avis sur certaines thématiques.

L'avis général sur l'étude :

La description des aquifères proposés dans ce rapport, les notions de courbes impulsionnelles lente et rapide pour caractériser la réponse à une pluie sur l'impluvium de ce même aquifère, ainsi que la mise en évidence de la bonne ou mauvaise représentativité des piézomètres du réseau, du bon ou mauvais calage de certains seuils pour suivre et préserver les ressources d'aquifères et superficielles sollicitées..., sont autant de contributions attendues qui vont permettre de mettre en place une gestion plus fine et plus adaptée en période d'étiages sur ce territoire.

Le travail réalisé concernant la modélisation du compartiment souterrain est très intéressant et notamment l'angle d'attaque choisi pour la problématique de la modélisation concernant le remplissage des nappes souterraines, l'approche piézométrique associée ainsi que la méthode pour évaluer la ressource disponible en interannuel.

Le logiciel TEMPO modélise les niveaux piézométriques et les débits en effectuant des corrélations purement mathématiques entre la pluie efficace, les niveaux dans les aquifères et les débits des rivières. Ces corrélations sont ensuite forcées par des modifications anthropiques (lâchers et prélèvements).

La connaissance intime des phénomènes souterrains par le BRGM aurait mérité la mise en place d'une modélisation physique, plutôt que mathématique, des phénomènes des compartiments souterrains. En effet, une approche physique de la modélisation aurait permis d'apporter une information supplémentaire à savoir une explication aux phénomènes simulés. Ceci paraît essentiel si cet outil a pour vocation d'être utilisé à terme pour de la gestion de crise.

Sur la méthode :

Avant toute modélisation, l'examen préalable des chroniques permettrait de dégager de nombreuses tendances qui doivent être confrontées au contexte hydrogéologique puis discutées une fois la modélisation effectuée. C'est la démarche inverse qui est apparemment retenue.

Une phase de modélisation sur des objets hydrogéologiques bien connus paraît être nécessaire avant d'être validée puis étendue à l'ensemble des piézomètres. En effet, le rapport montre que la modélisation de certains contextes hydrogéologiques simples (quasi absence de pompages parasites) est peu satisfaisante alors que celle de cas complexes sous forte influence de pompages voisins serait plus cohérente et représentative de l'état général de la nappe.

Pendant toute la présentation des résultats, la modélisation est d'abord faite et ce n'est que par la suite que des arguments de terrain sont recherchés pour la justifier. La démarche peut être génératrice d'erreurs. Ainsi, des seuils de débordements ou des niveaux de base sont définis à posteriori, sans pour autant être toujours démontrés.
La corrélation piézométrie/débit des cours d'eau basée sur le suivi des nappes captives, parait hasardeuse alors qu'aucun indice ne permet de démontrer une relation directe de causes à effets. Cette démarche est génératrice de confusions alors que des efforts importants sont réalisés à l'échelle du département pour différencier la gestion des nappes captives des autres systèmes (nappes libres et cours d'eau).

****

D'un point de vue plus général, n'y a-t'il pas un risque de distorsion entre le fait de caler TEMPO avec des chroniques observées de pluies, débits, niveaux (intégrant donc des influences), puis d'injecter des composantes aléatoires (pluies efficaces synthétiques), sans intégrer les fonctions « non naturelles », pour sortir au final des courbes statistiques non influencées?

Sur les données d'entrée (pluviométrie, piézométrie et hydrologie) :

Le calcul des débits naturels d'étiage, notamment des valeurs quinquennales sèches, est effectué en générant des chroniques de pluies fictives et en regardant la réponse du modèle à ce signal d'entrée.

Dans cette approche, il semblerait qu'une hypothèse de pluie homogène et représentative sur le BV ait été retenue pour les données d'entrée du modèle hydro(géo)logique. En effet, le nombre limité de stations et la localisation pas toujours sur le bassin versant de la Charente (Niort par exemple), laissent à penser que le choix qui a été privilégié dans le cycle de l'eau est la période hivernale et la recharge générale des nappes.

En revanche sur le cycle d'étiage où les pluies sont éparses, locales, avec des cellules orageuses, très influentes sur la réponse hydrologique superficielle, voire celle de nappes libres réactives, une incertitude forte règne sur la pertinence du choix et de la répartition des stations de référence pour caractériser l'évolution de la ressource. Notamment cette question se pose, si on se place dans la réalisation d'un objectif opérationnel de gestion au quotidien et de prévision. Un travail avait été fait en ce sens dans le PGE pour déterminer le «réseau optimum pluviométrique », et cela ne semble pas avoir été repris ou discuté dans cette démarche.

****

Les données hydrométéorologiques utilisées (pluviométrie et ETP) en entrée du modèle semblent être peu abondantes, au regard de la zone couverte par le logiciel TEMPO. La question de la représentativité de ces données utilisées peut être posée. Aussi il aurait été intéressant de tester certains résultats en sortie en fonction de plusieurs échantillons de données météorologiques d'entrée pour apprécier la robustesse du modèle à ces paramètres.

La période de référence issue des chroniques piézométriques ne porte que sur les 15 dernières années (1990 à 2005). Cette plage de données utilisables, indépendamment de l'approche choisie, est limite car il faut compter par exemple en hydrologie en trentaines d'années de

mesures fiables pour avoir une bonne représentativité pour les approches statistiques (en période de retour notamment) ; d'autre part cette période 1990-2005 est un cycle particulièrement sec qui peut fausser notamment certains résultats dans la détermination par cet outil des volumes disponibles.

Les chroniques de mesure de débits utilisées pour les relations « niveaux-débits » du modèle ont-elles été suffisamment « critiquées » ? Dans le cadre de l'élaboration du Plan de Gestion d'Etiage de la Charente un travail important de sélection, de tri voire de reconstitution de débits a été effectué pour n'utiliser que les années fiables ou sans trop de problèmes de mesure.

Cette méthode d'approche de type "boîte noire" ne prend que partiellement en compte la réalité de la complexité du milieu. Celui-ci n'est ni linéaire (réponse non proportionnelle au "signal d'entrée", liée à des changements brutaux de propriétés du milieu, comme la saturation des sols, pour donner un exemple), ni stationnaire (pas toujours la même réponse pour un « signal » d'une valeur donnée elle est fonction des états antérieurs du système). Mais c'est également vrai pour les modèles maillés. On n'intègre ces "anomalies" que pour ce qu'on en connaît (valeurs déjà observées, ou mécanismes "prévisibles"). Aussi, notamment pour des phénomènes de faible fréquence d'apparition, on peut sortir de la prévision (crues exceptionnelles, sècheresses extrêmes). Il ne faudra donc pas négliger la réactualisation des séries de données utilisées, seule manière de disposer d'observations plus nombreuses de « valeurs rares ».
Cela est d'autant plus indispensable qu'il va devenir de plus en plus nécessaire de mener des simulations intégrant les scénarios d'évolution climatique disponibles par ailleurs pour déterminer au mieux les volumes prélevables.

****

Les données pluies et ETP pourraient être affinées sur le secteur considéré. Pour le bassin aval de la Charente, l'élimination des données de Poitiers et de Mérignac paraît souhaitable. Le caractère décrit comme captif de certaines nappes doit être reprécisé.

****

Les chroniques de débit prises à la station de Foulpougne ne présentent pas une robustesse suffisante pour permettre une gestion consensuelle de la ressource. Un travail récent de modélisation réalisé par le CEMAGREF a rejeté ces chroniques au profit de celles plus anciennes qui avaient été acquises sur le site de la fonderie de Ruelle.

De plus dans un domaine karstique, un piézomètre représentatif doit rendre compte des zones les plus perméables (zones transmissives) qui sont celles qui participent le plus aux écoulements souterrains. Les potentiels rencontrés dans ces zones sont alors les plus bas et les gradients hydrauliques y sont les plus faibles, ce n'est pas le cas des piézomètres de Chazelles et de St-Projet.

****

La proposition de coupler pour chaque zone de gestion un indicateur de débit et un piézomètre est non seulement judicieuse -elle devrait être la règle- mais elle devrait être systématiquement complétée par un indicateur protégeant les secteurs locaux sensibles et une source jugée représentative du chevelu des petits cours d'eau amont.

L'idée est évoquée (page 260) et mérite d'être consolidée : ce ne sont pas des indicateurs 'secondaires'.

Dans le même ordre d'idée, l'outil « Tempo » semble pouvoir être adapté pour intégrer des caractéristiques superficielles telles que les relevés réguliers bi-mensuels (en période d'été) des linéaires d'assecs que fournit le groupe Carg'Eau.
Ainsi, sur les secteurs concernés, il pourrait être construit idéalement un faisceau de courbes : <volume disponible> versus <longueur d'assecs> ou bien, le cas échéant, <débit au point nodal> versus <longueur d'assecs>.

Ces données seraient précieuses dans le cadre d'une aide à la décision.

****

La représentativité du piézomètre de Biron ne paraît pas être judicieuse pour la gestion de la Seugne (pompages AEP et d'irrigation, contexte hydrogéologique complexe,...).
Dans la modélisation, la relation entre le piézomètre de La Clisse et le débit de l'Arnoult situé à 200 mètres n'est pas clairement démontrée.

Dans ces deux derniers cas, la transposition directe du niveau des cours d'eau pour l'étiage *"5* ans secs" pour définir la cote d'alerte vers les piézomètres de surveillance (exemple: 11 m NGF à Biron pour la Seugne; 22.8 m NGF à La Clisse pour l'Arnoult) est proposée. Une telle transposition ne justifie pas le recours à une modélisation complexe et fait abstraction des chroniques piézométriques antérieures ainsi que de l'historique acquis en périodes d'étiage délicat (pompages AEP et irrigation avec ou sans assec de l'Arnoult).

Le choix du site de *"La Poussardière"* (commune de St Savinien) comme indicateur ne paraît pas judicieux (très forte influence des pompages environnants,...).

En conclusion, le choix des points de surveillance pour la partie aval de la Charente ne semble pas adapté à une gestion pertinente nappe/rivière sur les bassins de la Seugne, de l'Arnoult et de la rive droite de la Charente (domaine crétacé).

Sur les hypothèse et conditions de travail de l'étude :

Une réaction immédiate de l'aquifère à la pluie n'est pas systématiquement la manifestation d'une nappe captive. La remarque en page 28, concernant le Jurassique supérieur, pourrait être fait sur d'autre niveau superficiel sur d'autres secteurs de la zone étudiée par cette phase 2 de l'étude.

Le QMNA5 n'est pas la base de calcul du DOE (page 30 - § 2.3.4). Un DOE (qu'il faut préciser être un débit moyenné sur un mois calendaire) est défini en fonction des besoins et usages :
« C'est la valeur au-dessus de laquelle, il est considéré qu'à l'aval du point nodal, l'ensemble des usages (activités, prélèvements, rejets,...) est en équilibre avec le bon fonctionnement du milieu aquatique. » (glossaire national des SDAGE).
Il peut être affecté d'une marge de tolérance et modulé dans l'année en fonction du régime (saisonnalité). Il pourra ne pas être respecté une année sur cinq en moyenne.
Le DOE est *seulement comparé* au QMNA5, qui se calcule de la même façon (moyenne mensuelle calendaire).
Par ailleurs, la comparaison avec les courbes de l'étude dites « 5 ans secs » n'est pas immédiate du fait de leur mode de calcul différent.

Certaines interprétations ou explications 'physiques' de l'écart entre des courbes reconstituées et des courbes mesurées dont certains aspects ne sont pas rendus, doivent être abordées avec

une grande circonspection.

Par exemple :

- les paliers de printemps : §2.3.2 - page 20,
- le décalage liée à un bicouche au sens de la perméabilité (cas du 'Banc Bleu' par exemple) : §2.3.2 - page 21.

Ces remarques seraient logiques dans l'analyse critique d'un rendu de modèle numérique maillé qui intègre effectivement des lois physiques.
Dans le cas des modèles 'boîte noire' fondés sur des relations statistiques (ou sur des réseaux neuronaux), les comportements sus-cités sont intégrés de fait dans la mesure où ils sont présents dans les chroniques.
La non-reconstitution n'est-elle pas un artéfact qui serait plutôt induit par le traitement des données subissant un éventuel lissage en fonction du temps ?

Ceci écrit, l'interprétation des paliers comme un soutien de la nappe par les rivières ou les zones humides mériterait d'être développée.

- Est-ce un soutien 'passif' : maintien d'un niveau de base de l'écoulement de la nappe ?
- Est-ce un soutien 'actif' : alimentation de la nappe par le cours d'eau ou la zone humide ?

Bien que ne relevant pas du modèle 'Tempo', ceci est fondamental dans le contexte de l'étude.

****

Dans la mesure où quelques ouvrages porteraient un historique suffisamment ancien, ne serait il pas intéressant de tester deux scénarios fondés sur deux jeux de données initiales : avant et après l'intensification des prélèvements agricoles ? Le cas échéant, probablement peu fréquent, ceci consoliderait l'évaluation du comportement 'non-influencé' des systèmes hydrologiques.

****

Au paragraphe 2.3.4. il est indiqué que l'année 2011 sert de référence aux simulations en « prévision ». On suppose que le choix de cette année est lié aux échéances réglementaires, mais ce n'est nullement précisé. Si le choix est uniquement de nature technique, il est nécessaire de l'argumenter.

Enfin, le modèle TEMPO s'appuie sur des scénarios de prélèvements très approximatifs (fonction « peigne ») qui nécessiterait certainement des améliorations. Un rapprochement avec l'EPTB Charente semble nécessaire car dans le cadre du suivi du PGE, il dispose d'une connaissance et d'une approche assez fine en termes de reconstitution des prélèvements agricoles, basée sur la demande climatique (ETP sur plusieurs stations), des besoins théoriques des plantes, et des restrictions d'usage. Un contrôle des résultats est opéré sur la base des informations des SPE et des déclarations des redevances Agence.

Cette intégration pourrait également être envisagée pour améliorer les scénarios de prélèvements pris en compte de façon très empirique dans le calcul du volume disponible (10 % avril-mai ; 20 % mai-juillet; 25 % juillet-aout).

Sur le calage :

Le calage du modèle, toujours concernant les corrélations « niveaux-débits », a été effectué sur la base des chroniques de piézométrie et de débit mesurés. Or l'outil TEMPO calcule à partir des pluies efficaces reconstituées (pluies - ETP observées) des chroniques non-influencées.

Cette approche peut être pertinente en période de recharge des nappes peu influencé par les prélèvements (période octobre à avril-mai) mais peut être contestable sur la période estivale où les influences sont beaucoup plus fortes. A-t-on les mêmes résultats de R2 et de critère de Nash si la période était centrée uniquement sur la période d'étiage?
Il aurait été très intéressant par exemple sur quelques exemples de comparer les sorties brutes du modèle non calées avec les chroniques de débit naturel reconstituées et élaborées dans le cadre du PGE Charente (période commune 1990-2003).

****

De nombreux cas montrent des calages en dessous de la piézométrie mesurée ce qui est interprété par le modélisateur comme une alimentation de la nappe par les cours d'eau pendant le printemps, en l'absence de pluies efficaces. Si ce phénomène peut être vérifié dans certains contextes karstiques en amont du bassin de la Charente, la généralisation de cette interprétation sur des contextes différents doit être largement reconsidérée.

Sur les périmètres de gestion proposés :

Dans le cadre de la proposition du redécoupage des Unités de gestion, le regroupement vertical des nappes ((§ 6.2.1 - page 248) dont la captivité s'avère relative à long terme et à l'échelle géographique considérée, est une recommandation pragmatique compte tenu des modes de gestion aussi bien structurelle que en situation de crise.
Ce modèle de type statistique, n'est-il pas adapté pour évaluer le degré de participation de chacune des nappes par exemple, en fonction de telle ou telle condition soit météorologique soit de prélèvement anthropique ?

****

L'étude propose une simplification des nombreuses zones de gestion mises en œuvre dans le cadre de la gestion volumétrique qui est tout à fait intéressante. Elle propose de définir des entités plus étendues et donc moins sectorisées que la situation actuelle de gestion.

Elle rejoint en ce sens les réflexions du PGE Charente sur l'échelle pertinente de la gestion collective des prélèvements. Le PGE a défini une dizaine d'unités territoriales de gestion sur lesquels s'appuie le calcul des volumes disponibles proposés pour la gestion en tenant compte du milieu naturel et des usages consommateurs d'eau.

Les périmètres proposés par l'étude BRGM retiennent des délimitations différentes, à savoir les aquifères. Cette approche intéressante au demeurant est cependant en décalage avec ce qui a été retenu par le PGE le découpage par sous bassins versants.
Cette approche par masse d'eau souterraine est envisageable pour une entité hydrogéologique à surface libre comme le karst de la Rochefoucauld, voire pour les sous bassins des rivières karstiques associées. On peut aussi l'envisager pour la gestion d'aquifères déconnectés des ressources superficielles comme le Turonien. Pour le reste, elle ne parait pas adaptée.
En effet, l'approche retenue est une approche de recherche scientifique qui est déconnectée des nécessités d'une gestion opérationnelle en temps de crise. Dans ce contexte, comment gérer les prélèvements sur l'axe Charente amont, lorsque celui-ci est partagé entre deux zones de gestion distinctes rive droite et rive gauche? Même si scientifiquement les arguments sont consistants, il paraît actuellement difficilement envisageable de vouloir mettre en place des niveaux de restriction différents d'une rive à l'autre, sans prévoir dix années de concertation supplémentaires, et surtout de vouloir ensuite les faire appliquer...

Sur les volumes disponibles estimés :

Concernant la méthode de calcul des volumes disponibles pour prélèvement, elle reste particulièrement obscure et complexe (pages 31-32 du rapport). Elle ne favorise pas la mise en place d'une information claire permettant son appropriation par les différents acteurs de l'eau.

Concernant la station de mesure de débit de Foulpougne, la station et le DOE de *6,5* m3.s-1 mériteraient d'être revus. Concernant la station de Vindelle, connaissant les difficultés de gestion qu'implique le maintien du DOE à 3 m^3/s à Vindelle (organisation collective des préleveurs, gestion des lâchers depuis les barrages, mesures de restrictions, etc.), il semble étonnant de lire pour ce point nodal "DOE faible par rapport aux possibilités naturelles". Il est ainsi annoncé une potentialité de prélèvement en amont de Vindelle de *50* hm^3, en intégrant les volumes de soutien d'étiage.

Indépendamment des détails de calcul, il paraît important d'attirer l'attention sur deux points la définition de volumes disponibles négatifs sur certains bassins (Né, Seugne, Touvre) est contre productive. Sur les sous bassins dépourvus de DOE/DOC ou gérés par des piézomètres, la définition des volumes disponibles n'est pas envisagée. Il n'y a pas de proposition de solutions alternatives. Sur le fleuve depuis Jarnac jusqu'à l'estuaire, ces volumes ne sont pas précisés ce qui représente une partie non négligeable du bassin.

Sur les indicateurs de qualité des calculs et les incertitudes :

Par construction, il est probable que la qualité de la prédictivité de ce type de modèle se dégrade au fur et à mesure que l'on s'écarte des conditions de l'apprentissage du modèle.
Ainsi la reconstruction du comportement non-influencé (par les prélèvements agricoles) peut être affectée d'une incertitude (au sens statistique) non-négligeable qu'il serait intéressant de quantifier.
Cependant, cet exercice doit être conservé et mis en valeur car c'est un des points forts de l'étude.
Alors que cela a pu être avancé par ailleurs, il est hâtif de considérer que cette incertitude est à-priori exagérée. Nombre d'utilisateurs serait sans doute surpris si ils exigeaient un calcul équivalent de l'incertitude affectant les résultats des modèles numériques maillés, compte tenu des incertitudes initiales des données injectées en entrée de modèle, des approximations/simplifications des processus physiques mis en jeu ainsi que de l'architecture géométrique des aquifères.

De la même façon, par construction, ces modèles ne sont prédictifs que 'toute chose égale par ailleurs'. Une modification substantielle des données, par exemple une modification de la répartition spatiale ou temporelle de la densité des prélèvements agricoles (cas des substitutions hivernales par exemple) risque de perturber la qualité des résultats si cet outil est appelé à devenir un outil de gestion de la ressource.
Ceci mériterait d'être rappelé dans les résumés/conclusions de l'étude.

****

Les indicateurs de qualité des calculs que sont les coefficients de corrélation R^2 et Nash ont été construits sur le mode pluriannuel.

Il serait intéressant de pouvoir les calculer sur des périodes plus courtes une période d'étiage d'avril à octobre par exemple avec une représentation graphique centrée sur cette période afin de bien visualiser les écarts entre le modèle et «l'observé ». C'est à cette condition qu'il sera

possible d'évaluer correctement l'ajustement du modèle sur la période utile qui est visée dans cet opus.
En s'appuyant sur ces éléments, peut-on réellement définir une courbe stricte de QMNA5 et DOE comme celle présentées sur l'illustration 19?

Ce travail ayant un caractère scientifique, une analyse sur les incertitudes des résultats ne serait-elle pas intéressante en introduisant la notion de variabilité autour d'une valeur ? Cette approche permettrait de proposer des courbes enveloppes ou fuseaux à la place des courbes médiane et *5* ans secs. Tout le raisonnement concernant les niveaux de gestion et les calculs de volumes serait amélioré.

****

D'un point de vue plus général, il manque des tests de sensibilité du modèle sur certains paramètres importants (pluie, ETP, prélèvements et lâchers, ...) qui permettraient d'encadrer les résultats, notamment sur la détermination des volumes disponibles (tableau p 243), par un intervalle de confiance.

Des essais de changement d'échelle temporelle et spatiale seront également nécessaires pour apprécier le niveau de confiance. Ceux-ci pourraient être réalisés sur un bassin test, sur lequel il serait alors possible et souhaitable de comparer avec une approche par un modèle distribué (maillé s'il s'agit d'un milieu pouvant être considéré comme continu à l'échelle considérée).
Sur la base de ces « essais », il serait alors possible de déterminer un optimum coût-efficacité dans les moyens à mettre en œuvre pour aider à la décision publique.

Sur les données des prélèvements AEP et irrigation :

L'intégration dans TEMPO des données de prélèvements agricoles est assez vague. La prise en compte de ces prélèvements mériterait d'être précisée en volume et en répartition.
En effet, si l'on s'en tient à l'explication du § *2.3.5* et de l'illustration 19, l'évolution temporelle des prélèvements est simulée comme suit : 10% du prélèvement total en avril, 20% en mai, 20% en juin, 25% en juillet et 25% en août, répartition qui ne traduit pas la réalité de gestion. Le « scénario d'exploitation *(5)* », est donc à reconsidérer, ainsi que les hypothèses de calcul des courbes (3) et (4). La variabilité des prélèvements agricoles, saisonnière et interannuelle, est un point primordial dans la gestion et la modélisation des étiages, notamment en Charente qui des lâchers des retenues de Lavaud et Mas Chaban ne semblent pas intégrés. Le soutien d'étiage n'est donc pas suffisamment pris en compte dans le système.

Le travail présenté serait utilement complété par la description des courbes impulsionnelles relatives aux prélèvements agricoles. Ces éléments permettraient d'estimer l'effet des prélèvements sur la vidange naturelle des aquifères.

****

Comme il est signalé dans les conclusions, les prélèvements AEP sont considérés comme implicitement pris en compte, ce qui serait possible sans introduire de biais s'il s'agissait d'une fonction constante. Or même en dehors des zones touristiques, cela n'est pas le cas.
Il est vrai que des valeurs exactes des volumes mensuels, ou décadaires, ne sont pas disponibles immédiatement auprès des l'Agence de l'Eau, qui ne recueille désormais que des données annuelles depuis la LEMA (auparavant elle disposait d'une information supplémentaires, les prélèvements durant la période « d'étiage »).

Il semble néanmoins possible dès maintenant, en s'appuyant sur l'expérience de grands gestionnaires du Bassin de la Charente comme le Syndicat départemental 17, de déterminer une fonction de distribution de ces prélèvements qui serait de nature à améliorer le modèle.
Si nécessaire, et dans un second temps, pour affiner encore l'outil il serait tout à fait envisageable d'obtenir des informations à la même fréquence que celles relevées pour l'usage agricole, au moins sur un échantillon représentatif de captage sou d'exploitants. Pour cela, on voit toute l'importance de s'appuyer sur l'EPTB Charente. Celui-ci serait pleinement dans son rôle, dans le cadre du PGE qui le prévoit, en collectant et rassemblant ce type d'informations qu'il serait à même de mettre à disposition du BRGM.

Sur la forme et les compléments à apporter :

L'utilisation du logiciel TEMPO peut répondre aux attentes de la DIREN, mais l'impératif devant lequel s'est trouvé le BRGM de devoir traiter la totalité des bassins de la région sur une période limitée a peut être conduit à adopter des indicateurs parfois critiquables, de même que pour éviter la production de documents trop volumineux, l'édition de figures détaillées a pu être écartée ce qui rend difficile l'analyse et la rédaction d'un avis technique.

****

Le calcul des volumes dits disponibles pourrait être encore plus explicité.

La présentation de la 1ère phase qui exposait une courbe <volume disponible> versus <débit> était une très bonne idée. Ce document devenait ainsi un support de discussion à l'établissement d'un 'volume disponible aux prélèvements économiques' et/ou à l'éventuel ré-ajustement du DOE. Car cette discussion, dans le cadre de SAGE par exemple, est d'ordre 'politique' et relève de choix de modèle socio-économique d'une part, et/ou ne relève pas des disciplines hydrologiques et hydrogéologiques d'autre part (évaluation des besoins des milieux aquatiques).

La présentation d'une seule valeur est un retour en arrière. Le reproche consistant à s'étonner de valeur négative trahit soit une mauvaise compréhension de ce qu'est un modèle et de ses hypothèses initiales, soit simplement un peu de mauvaise foi.
Cette présentation pourrait être complétée par la présentation d'un faisceau de courbes reste un bassin surexploité en période d'étiage. Par ailleurs, la distinction n'est pas faite entre les prélèvements en rivière et les prélèvements en nappe. De plus, le calendrier et le niveau illustrant divers scénarios de rythme de prélèvements.

Est-il possible de développer -et de bien expliciter- la fonction « lâcher » qui serait utile sur d'autres secteurs ?

****

Dans le même ordre d'idée, une explication pédagogique du modèle de traitement du signal en particulier de l'impulsion aurait été bienvenue.

En conclusion, un travail important a été réalisé (nombreuses chroniques de pluie reconstituées...) pour définir une ressource exploitable avec une échelle pluriannuelle mais le modèle de prévision défini pourrait être beaucoup plus abouti.

****

Le paragraphe 2.3.5 et l'illustration 19 concernant le principe de calcul des volumes disponibles mériteraient de plus amples commentaires pour mieux comprendre le mécanisme, et ce d'autant plus qu'il s'agit du cœur de la démonstration, qui nécessite de ce fait un maximum d'effort pédagogique en direction des acteurs locaux qui doivent s'approprier des outils complexes.

Notamment la courbe de référence en 5 ans secs, sur laquelle repose le calcul du volume disponible par rapport à l'objectif n'est pas schématisée.
D'autre part la relation entre la courbe objectif et les seuils de référence en DOE/DCR sur les rivières mériterait également un développement plus complet. En effet les conclusions p 239 à 242 semblent remettre en cause certaines valeurs seuils en DOE/DCR. L'ajustement de ces courbes objectifs avec ces seuils de référence doit être analysé plus dans le détail pour mieux comprendre leur robustesse.

LISTE DES HYDROGEOLOGUES SOLLICITES POUR L'EXPERTISE DU RAPPORT DE PHASE 2 (Bassin de la Charente)

- Pierre MARCHET de l'Agence de l'eau Adour-Garonne,

- Pascal BILLAULT de l'Agence de l'Eau Loire-Bretagne,

- Fabrice COMPERT du cabinet d'études ERM,

- Béatrice SIMON de l'Observatoire Régionale de l'Eau (ORE),

- Gilbert BEAULIEU du Syndicat des eaux de la Vienne (SIVEER),

- Jacques LEPINE du Syndicat des eaux de la Charente-Maritime,

- Fabrice MOREAU du cabinet d'études HYGEO,

- Bruno de GRISSAC du Syndicat mixte d'études pour la gestion de la ressource en eau du département de la Gironde (SMEGREG), hydrogéologue agréé dans le département de la Charente,

- Patrice SQUARCIONI du cabinet d'études HydroInvest,

- Laurence LACOUTURE, hydrogéologue coordonnatrice dans le département de la Charente,

- Marie-Jacqueline MARSAC-BERNEDE, hydrogéologue agréée suppléante dans le département de la Charente,

- Claude ARMAND, hydrogéologue coordonnateur dans le département de la Charente-Maritime,

- Moumtaz RAZACK, hydrogéologue agréé suppléant dans le département de la Charente-Maritime,

- Yves LEMORDANT, hydrogéologue coordonnateur dans le département des Deux-Sèvres,

- Franck GIRARDEAU, hydrogéologue agréé suppléant dans le département de la Vienne.

Annexe 2 Eléments de réponses du BRGM aux questions techniques posées

ELEMENTS DE REPONSE DU BRGM A L'ANNEXE TECHNIQUE DE LA NOTE ETABLIE PAR L'EPTB Charente

« La mise en place d'une modélisation physique »

Lancée en 2005, l'objectif de l'étude sur l'analyse des chroniques piézométriques et hydrologiques avec le logiciel TEMPO pour la gestion des prélèvements était de disposer rapidement, et sur l'ensemble du territoire régional, d'un outil d'aide à la réflexion sur la gestion des ressources en eau.

En ce sens, le logiciel TEMPO constitue une outil adapté grâce à une mise en œuvre relativement immédiate et rapide, contrairement à un modèle hydrodynamique où l'étape de construction du modèle est synonyme d'une recherche bibliographique préalable et d'une analyse des données nécessitant un large planning de réalisation.

Une démarche de modélisation physique a été entreprise dans le cadre du Contrat de plan Etat-région (CPER) 2000/2006 . Elle a aboutit en 2007 à la finalisation de deux grands modèles régionaux (le modèle de l'Infra-Toarcien et du Dogger du seuil du Poitou et celui du Crétacé supérieur de la Charente) mais qui ne couvrent pas la totalité de la région.

« Une explication pédagogique du modèle du traitement du signal »

Le rapport provisoire de phase 2 présente, des pages 16 à 31, les fonctionnalités du logiciel TEMPO et la méthodologie appliquée à l'étude.

« Une incertitude forte règne sur la pertinence du choix et de la répartition des stations de référence pour caractériser l'évolution de la ressource »

L'approche TEMPO est basée sur la recherche des corrélations entre pluie efficace/piézométrie/débit et la mise au point de fonctions de transfert. Il est recherché en premier lieu l'équation pluie (faisant intervenir un panel de stations) qui présente les meilleures corrélations avec la piézométrie. L'avantage d'intégrer plusieurs stations permet de se dispenser des effets locaux, d'autant plus que le bassin versant est intégrateur. Cela permet aussi de moduler les influences, par exemple océaniques si l'on considère la station de La Rochelle ou plus continentales avec celle de Niort. La prise en compte de stations à l'extérieur de la zone d'étude n'est donc pas un réel problème. De nombreuses publications scientifiques (internationales) ont été réalisées sur ces aspects.

« La prise en compte des prélèvements agricoles mériterait d'être précisée en volume et en répartition »

Les prélèvements agricoles ne sont pas intégrés dans les modèles TEMPO. Ils sont donnés à titre de comparaison.

Le scénario de prélèvements est, en effet, une hypothèse qui intervient largement dans l'obtention des résultats. C'est pourquoi, dans le cadre de la phase 3, qui prévoit entre autres l'actualisation 2005/2007 des données des modèles, plusieurs scénarios seront testés. Ce scénario fait partie des hypothèses de travail pour l'estimation des volumes disponibles. Il est tout à fait évident que, dans la réalité, les prélèvements peuvent être variables et répartis différemment d'une année sur l'autre.

« La distinction n'est pas faite entre les prélèvements en rivière et les prélèvements en nappe. De plus, le calendrier et le niveau des lâchers des retenues de Lavaud et Mas Chaban ne semblent pas intégrés. »

Effectivement, la distinction n'est pas faite entre les prélèvements en rivière et en nappe.

Concernant les lâchers des barrages de Lavaud et Mas Chaban, leur prise en compte est réalisée à travers une fonction « peigne ». Le logiciel permet de restituer l'importance de ces lâchers qui, comparés aux historiques, se montrent très cohérents. La prise en compte des lâchers, comme des prélèvements, permet d'améliorer le calage du modèle et d'individualiser l'impact anthropique de manière à mieux le supprimer par la suite en phase de simulation.

« Il serait intéressant de pouvoir calculer les coefficients de corrélation R^2 et Nash sur des périodes plus courtes »

Il convient de bien distinguer la phase de calage de la phase de simulation/prévision. Dans la phase de calage, les R^2 et Nash sont des guides mais la recherche du meilleur R^2, par exemple, n'est pas toujours l'objectif. Il convient surtout que la fonction de transfert soit la mieux calée possible, c'est-à-dire en supprimant tous facteurs anthropiques. Donc, travailler d'avril à octobre, en dehors des difficultés techniques, ne serait pas forcément plus pertinent.

Mais il est aussi évident que pour répondre à la gestion des étiages, on regardera préférentiellement le calage en basses eaux alors que pour répondre à la gestion des crues, on essaiera d'affiner le calage en hautes eaux. En prévision, la méthodologie est basée sur la génération aléatoire (mais basée sur l'observation des historiques) d'un grand nombre de chroniques de pluie efficace (plus de 200), puis sur le classement des résultats obtenus en utilisant les fonctions de transfert mises au point en phase de calage.

« Une approche en décalage avec ce qui a été retenu par le PGE : le découpage par sous bassins versants »

Dans l'étude du BRGM, la délimitation des zones de gestion est principalement basée sur les sous-bassins versants de la Charente. Toutefois, l'étude fait des propositions destinées à être débattues car, dans certains secteurs, il ne s'agit peut-être pas de la zonation la plus pertinente.

« Une méthode de calcul des volumes disponibles particulièrement obscure et complexe »
La méthode de calcul des volumes est effectivement complexe. Mais cela doit répondre à des questions complexes sur un milieu naturel lui-même extrêmement compliqué. L'expérience montre qu'après nombreux débats et explications, les acteurs s'approprient progressivement la méthodologie.

« La définition des volumes disponibles négatifs sur certains bassins (Né, Seugne, Touvre) est contre productive »

Les résultats des volumes disponibles sont donnés par rapport aux objectifs de débits fixés (DOE ou DSA). Si ceux-ci sont difficiles à atteindre, il est bien évident que les volumes sont négatifs. Ce point avait déjà été mis en évidence (notamment pour le Né) par la CACG.

Dans le cadre de l'établissement de fiches de synthèse par bassin versant et de l'actualisation des résultats de la phase 3, les résultats des volumes disponibles seront présentés sous la forme de graphiques des volumes disponibles en fonction des débits d'objectif que l'on se fixe.

Annexe 3 Compte-rendu (DIREN) de la réunion du 18 juin 2008 avec les hydrogéologues « naturalistes » et courrier du Syndicat des eaux de la Charente-Maritime

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Direction régionale de l'environnement
POITOU-CHARENTES

Service eau et milieux aquatiques

Poitiers, le 10 septembre 2008

Compte-rendu de la réunion du 18 juin 2008

EXPERTISE NATURALISTE DE L'ÉTUDE DU BRGM RELATIVE A L'ANALYSE DES CHRONIQUES PIEZOMETRIQUES ET HYDROLOGIQUES AVEC LE LOGICIEL TEMPO

Phase 2 : bassin de la Charente

Étaient présents :

Jacques LEPINE :	Syndicat des Eaux de la Charente-Maritime
Patrice SQUARCIONI :	HYDRO INVEST
Olivier AURIOL :	EPTB Charente
Harold RETHORET :	EPTB Charente
Christophe JUTAND :	Agence de l'eau Adour-Garonne
Patrick BARNET :	DDAF de la Charente
Francis BICHOT :	BRGM
Laëtitia NICOLAŸ :	DIREN

Était excusé :

François-Marie PELLERIN :	Poitou-Charentes Nature

I – Introduction

Suite à la sécheresse de 2005, la Direction Régionale de l'Environnement (DIREN) et les services départementaux de l'État en charge de la gestion de l'eau (Missions et Délégations Inter-Services de l'Eau) ont souhaité réaliser une étude visant à mieux comprendre le fonctionnement des eaux souterraines et des relations nappe-rivière et ainsi, contribuer à l'estimation des volumes prélevables en fonction des objectifs de débits des cours d'eau en période

d'étiage. Ils ont mandaté à ce titre le Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM).

L'étude se déroule en trois phases :

- **1ère phase : Clain, Sèvre Niortaise, Dive du Nord, Seudre et Boutonne,**
- **2ème phase : Charente**,
- **3ème phase : Thouet, Vienne, Gartempe/Creuse, Tude/Lizonne et nappes profondes.**

Une première version de la phase 2 a été remise par le BRGM en juillet 2007 et examinée par la DIREN et les MISE. Elle a été présentée le 11 octobre 2007 à la MISE de la Charente et à l'Etablissement Public Territorial de Bassin (EPTB) de la Charente. Le dernier trimestre de l'année 2007 a été consacré à la réalisation de la plaquette de communication de l'étude et aux 15 fiches de synthèse par bassin de la phase 1 de l'étude.
Dans un courrier du 24 janvier 2008, la DIREN a consulté 17 hydrogéologues en leur demandant de contribuer à l'expertise naturaliste du rapport provisoire de la phase 2 (liste des hydrogéologues jointe en annexe). Cinq hydrogéologues ont répondu favorablement :

- Jacques LEPINE du Syndicat des Eaux de la Charente-Maritime,
- Patrice SQUARCIONI de la société HYDRO INVEST,
- Pierre MARCHET de l'Agence de l'Eau Adour-Garonne,
- François-Marie PELLERIN de Poitou-Charentes Nature,
- Béatrice SIMON de l'ORE.

Par ailleurs, suite à la réunion du 11 octobre 2007, l'EPTB de la Charente a transmis à la DIREN une note faisant part de ses remarques quant à l'étude du BRGM. Compte tenu du caractère technique d'une partie d'entre elles portant entre autres sur la modélisation, l'EPTB a été invité à s'associer à l'expertise naturaliste.

La réunion a pour objectif d'échanger entre le BRGM, les services de l'État et les experts hydrogéologues afin de finaliser l'étape de validation de l'étude.
La discussion est retranscrite ci-après de la manière suivante :

☝ remarques et questions des experts hydrogéologues, des services de l'État et de l'EPTB,

↳ réponses apportées par le BRGM ou la DIREN.

II – Synthèse des échanges et débats

Sur l'outil TEMPO :

☝ L'ensemble des hydrogéologues s'accorde sur le fait que le logiciel TEMPO constitue un outil adapté à la problématique recherchée, qui n'est pas à remettre en cause.

Sur la méthode :

☝ La démarche retenue n'a pas consisté en un examen préalable des chroniques - ce qui permettrait de dégager de nombreuses tendances pouvant ensuite être confrontées au contexte hydrogéologique et discutées une fois la modélisation effectuée – mais plutôt l'inverse : modélisation--> tendances --> discussions.

↳ Le logiciel TEMPO constitue un outil de modélisation inverse, basé sur un traitement mathématique de séries chronologiques. Il ne s'agit pas d'un modèle maillé qui nécessite des données précises sur la géologie du milieu et un calage sur les chroniques existantes pour reproduire le fonctionnement de l'hydrosystème.

La démarche poursuivie s'appuie sur la recherche de la meilleure corrélation possible entre les signaux d'entrée et de sortie (pluie/ETP, niveaux piézométriques, débits). Le calage du modèle permet ensuite, par rapport aux chroniques existantes, de mettre en évidence certains phénomènes naturels ou anthropiques (soutien de la rivière ou impact des prélèvements). En dernier lieu, l'expertise naturaliste a pour objectif de rapprocher les tendances observées lors du calage avec les connaissances locales des hydrogéologues.

Sur la représentativité des données d'entrée dans le modèle :

☝ La question de la fiabilité de certaines données d'entrée dans le modèle est soulevée par les hydrogéologues et les services de l'Etat, notamment pour les stations de la Touvre, du Né et de la Charente à Vindelle et pour plusieurs piézomètres.

↳ Les suivis hydrométriques disponibles sur la banque HYDRO sont classiquement les données utilisées dans le cadre de modélisations des écoulements. Les autres mesures hydrométriques ne présentent généralement pas un historique suffisant pour être exploitées. Par ailleurs, la méthodologie du logiciel TEMPO, qui repose sur la recherche des meilleures corrélations entre les données d'entrée et de sortie, fait que l'on travaille « en relatif » et non « en absolu ». La qualité de la donnée est effectivement

une contrainte. Toutefois les chroniques de mesures sont critiquées et les parties douteuses ou de toute évidence erronées sont écartées pour la modélisation.

En conclusion, il apparaît nécessaire de conduire une étude diagnostic sur la fiabilité de certaines stations et l'opportunité de mettre en place de nouvelles stations hydrométriques et piézométriques.

Sur les zones de gestion proposées :

☝ Les services de l'Etat et l'EPTB expriment leur souhait de ne pas voir imposer les limites des zones de gestion proposées en tant qu'outils de gestion des étiages.

↳ La DIREN précise que les zones de gestion sont des propositions qui ont ensuite vocation à être discutées de même que l'ensemble des conclusions de cette étude. Il s'agit d'une avancée des connaissances, en particulier concernant les relations nappes-rivières, mais l'ensemble des résultats de l'étude n'a pas vocation à être mis en œuvre stricto-sensu. Une phase de communication et de concertation avec l'ensemble des acteurs concernés est prévue.

Sur le choix des indicateurs représentatifs par zones de gestion :

☝ Le choix de certains indicateurs piézométriques ne semble pas adapté, notamment pour la partie aval de la Charente, car identifiés comme très impactés par les prélèvements ou captant les nappes profondes.

↳ Le choix d'un indicateur dépend des données disponibles qui sont réparties de manière hétérogène sur le territoire régional. De nombreux piézomètres sont impactés par les prélèvements mais l'étude s'est efforcée à identifier le poids de ces impacts et à reconstituer les comportements naturels des piézomètres.
En Poitou-Charentes la quasi-totalité des piézomètres présentent des cycles recharge/vidange annuels, y compris en nappe profonde, ce qui suggère une interconnexion plus ou moins forte avec la surface (zone de recharge et zone d'émergence des nappes (sources, rivières)). Ce travail étudie ces relations entre les nappes et les rivières de manière à estimer les temps de transfert et l'inertie de l'hydrosystème. Certains piézomètres en nappe captive montrent des corrélations fortes avec le débit des rivières et sont donc proposés en gestion.

En conclusion, il est convenu que le rapport mette en évidence si le choix d'un indicateur s'est fait « par défaut », comme par exemple lorsqu'il n'existe que deux piézomètres dans la zone de gestion. Le terme d'indicateur représentatif

ne sera mentionné dans le rapport que dans la mesure où il aura été identifié comme un bon indicateur de l'état général de la ressource.
Par ailleurs, dans ce contexte, la recherche et l'identification de nouveaux secteurs pour l'implantation d'indicateurs représentatifs paraît opportune pour les zones de gestion concernées.

Sur l'étude BRGM et le Plan de Gestion des Etiages de la Charente :

☝ L'interaction possible des résultats de cette étude avec la démarche du PGE de la Charente est soulignée par l'EPTB.

↳ La DIREN précise que cette étude vient en complément de celles déjà existantes et qu'elle constitue un outil d'aide à la décision qui permettra d'enrichir les démarches engagées telles que le PGE. L'étape suivante à la publication des résultats finaux de la phase 2 passe effectivement par un rapprochement des méthodes et des hypothèses de travail du PGE et de l'étude du BRGM.
S'agissant de l'estimation des volumes disponibles par unité hydrologique, il convient également de mettre en lien ces deux bases de travail avec la méthodologie récemment développée par la DIREN de bassin Adour-Garonne (mais qui demeure à ce stade provisoire).

Sur le rapport :

☝ Il est demandé que le terme « écrêteur » de nappe utilisé pour la Touvre soit revu ainsi que le commentaire sur la comparaison des débits d'étiage 5 ans secs donnés par le modèle pour les stations de Foulpougne et de Vindelle, compte tenu du rapport de la taille de leurs bassins versants.

↳ Le rapport sera modifié au vu de ces remarques.

Sur les perspectives et suites à donner à cette étude :

L'Agence de l'eau Adour-Garonne propose de poursuivre cette étude selon quatre pistes de réflexion :

- Tester la sensibilité et la robustesse de l'outil,
- Coupler le logiciel TEMPO avec d'autres outils préexistants, notamment pour affiner les scénarios des prélèvements agricoles et intégrer des intervalles de confiance sur les résultats produits,
- Développer TEMPO vers un outil opérationnel à la disposition des organismes uniques du bassin,

- Caler les zones de gestion proposées dans le cadre de cette étude avec les unités de gestion plus opérationnelles de ressource en eau déjà définies dans le bassin.

Un secteur d'étude pilote, comme par exemple celui du bassin du Né, pourrait être retenu pour avancer sur ces 4 pistes de développement, avec une participation de l'Agence de l'Eau.

IV – Conclusion

L'ensemble des remarques des experts hydrogéologues, agrégées dans un même document ainsi que le compte-rendu de cette réunion seront annexés au rapport final de la phase 2.

S'agissant des suites à donner à l'étude, telles qu'une étude diagnostique sur la fiabilité de certaines stations ainsi que la recherche de nouveaux sites pour l'implantation de nouveaux indicateurs, la DIREN engagera une réflexion avec les acteurs concernés.

La Commission de Suivi du PGE devrait se réunir en octobre ou en novembre 2008. D'ici cette date, l'EPTB et la DIREN conviennent d'engager un travail sur le rapprochement et l'analyse des méthodes du PGE et de l'étude du BRGM.

PHASE 2 : Liste des hydrogéologues consultés

- Monsieur Pierre MARCHET de l'Agence de l'Eau Adour-Garonne,
- Monsieur Pascal BILLAULT de l'Agence de l'eau Loire-Bretagne,
- Monsieur François-Marie PELLERIN de Poitou-Charentes Nature,
- Monsieur Fabrice COMPERT de ERM,
- Madame Béatrice SIMON de l'ORE,
- Monsieur Gilbert BEAULIEU, du Syndicat des Eaux de la Vienne
- Monsieur DENIS du Syndicat des EAUX de la Charente-Maritime,
- Monsieur Fabrice MOREAU HYGEO Eau et Environnement,
- Monsieur Bruno de GRISSAC du SMEGREG, hydrogéologue agréé en Charente,
- Monsieur Patrice SQUARCIONI d'Hydroinvest,
- Madame Laurence LACOUTURE, hydrogéologue coordonnatrice en Charente,
- Madame Marie-Jacqueline MARSAC-BERNEDE, hydrogéologue suppléante en Charente,
- Monsieur Claude ARMAND, hydrogéologue coordonnateur en Charente-Maritime,
- Monsieur Moumtaz RAZACK, hydrogéologue suppléant en Charente-Maritime,
- Monsieur Yves LEMORDANT, hydrogéologue coordonnateur en Deux-Sèvres,
- Monsieur Franck GIRARDEAU, hydrogéologue suppléant en Vienne,

SYNDICAT DES EAUX
CHARENTE-MARITIME

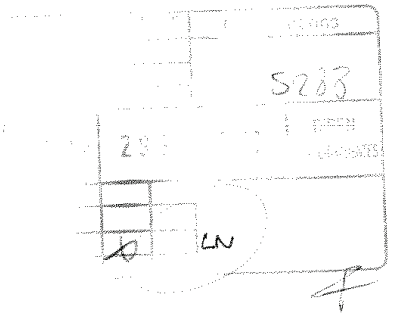
Saintes, le 23 Septembre 2008

Le Directeur Général,
à

N/Réf : JL/KP
Affaire suivie par Jacques Lépine

Monsieur le Directeur Régional
de l'Environnement

14 boulevard Chasseigne - BP 80955
86038 POITIERS CEDEX



Compte-rendu de la réunion du 18 Septembre/étude Tempo du BRGM Bassin versant de la Charente

A l'attention de Monsieur BARNET

Monsieur le Directeur,

Je vous prie de bien vouloir trouver ci-joint les observations du Syndicat relatives au compte-rendu de la réunion du 18 Juin 2008 sur "*l'expertise naturaliste de l'étude du BRGM relative à l'analyse des chroniques piézométriques et hydrologiques avec le logiciel Tempo*".

Le compte-rendu rapporte que *"Sur l'outil tempo, l'ensemble des hydrogéologues s'accorde sur le fait que le logiciel Tempo est un outil adapté à la problématique recherché"*. Si les participants se sont prononcés sur le fait que le logiciel pouvait constituer un outil permettant d'améliorer la connaissance, il n'a pas été validé qu'il répondait aux besoins pour la gestion de l'eau en période d'étiage.

Sur le choix des indicateurs représentatifs par zones de gestion - Malgré les observations du Syndicat formulées dans son avis du 6 mars 2008 ; portant sur la représentativité de piézomètres profonds en nappe captive pour la gestion du débit des rivières, vous conservez le principe que "*certains piézomètres en nappe captive montrent des corrélations fortes avec le débit des rivières et sont donc proposées en gestion*". Même si des corrélations peuvent être observées, le syndicat maintient que ce choix n'est pas le bon. Il est préférable d'indiquer que ces ouvrages sont surveillés pour l'amélioration de la connaissance plutôt que la gestion.

Enfin, il persiste toujours une ambigüité générale sur la finalité de la démarche Tempo qui est présentée soit comme un outil de gestion sur des zones redéfinies soit comme un simple outil pour améliorer la connaissance. Etant donné les imprécisions sur les données (cf. analyse "*en relatif*") et leur représentativité (cf. *indicateurs "par défaut"*) et vu la démarche adoptée (modélisation et ensuite expertise naturaliste), la démarche Tempo doit être simplement présentée comme un

SYNDICAT DES EAUX DE LA CHARENTE-MARITIME
Z.I. DE L'ORMEAU DE PIED - 131 COURS GENÊT - B.P. 517 - 17119 SAINTES CEDEX
Internet : www.syndicat-des-eaux-17.fr - e mail : secretariat@syndicat-des-eaux-17.fr - Tél. 05 46 92 39 00 - Fax 05 46 92 39 04

Charente-Maritime

outil de modélisation pour améliorer la connaissance, avec les incertitudes inhérentes à ce type de démarche.

Le Syndicat souhaite que ce présent courrier soit joint au compte-rendu qui doit être annexé au rapport final de la phase 2.

Je reste à votre entière disposition et vous prie d'agréer, Monsieur le Directeur, l'expression de mes sentiments distingués.

Le Directeur Général
Par Intérim

Denis MINOT

Centre scientifique et technique
3, avenue Claude-Guillemin
BP 6009
45060 – Orléans Cedex 2 – France
Tél. : 02 38 64 34 34

Service géologique régional Poitou-Charentes
5 rue de la Goélette
86280 – Saint Benoit – France
Tél. : 05 49 38 15 38