

Document public



62051

Relations nappes-rivière en période de crue dans le bassin du Clain



BRGM/RP-62051-FR
Février 2013

89 3740 46 625 5



Relations nappes-rivière en période de crue dans le bassin du Clain

BRGM/RP-62051-FR
Février 2013

Étude réalisée dans le cadre des projets de Service public du BRGM 09RISI05

H. Bessière
Avec la collaboration de
P. Stollsteiner, F. Bichot et J. Durand

Vérificateur :

Nom : O. Douez
Date : 04 mars 2013



Approbateur :

Nom : F. Bichot
Date : 06 février 2013



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

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

Mots clés : Crues, Clain, Modélisation, Vienne, relation nappe-rivière, prévision de crue

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

Bessière H. 2013. Relations nappes-rivière en période de crue dans le bassin du Clain : Tests en temps réel. BRGM/RP-62051-FR Février 2013. 117 p., 51 ill., 23 tab., 5 ann.

Synthèse

Le bassin versant du Clain se caractérise principalement par l'existence de plateaux calcaires du Jurassique karstique entaillés par un réseau hydrographique dont la faible densité souligne l'importance des circulations souterraines. Dans les conduits karstiques, les circulations d'eau peuvent être rapides et la contribution des nappes peut venir gonfler des phénomènes de crues et d'inondation à l'aval du bassin, en particulier à Poitiers. C'est une des préoccupations du Service de prévision des crues Vienne-Thouet qui souhaiterait intégrer des indicateurs en nappe pour l'anticipation des crues. En effet, ce service est parfois amené à lancer des alertes, à partir d'abaques croisant une pluie annoncée avec le débit du Clain à Poitiers, qui ne sont pas toujours suivies d'une crue de la rivière. Ainsi, sur la base du travail d'analyse réalisé en 2008-2009, le SPC Vienne-Thouet a souhaité affiner les connaissances acquises sur les sous-bassins du Clain amont, de la Clouère et le bassin du Clain moyen pour leur intérêt en termes d'anticipation pour les prévisions de crues.

L'objectif de l'étude est d'affiner la connaissance acquise sur l'influence des nappes du Dogger et/ou de l'Infra-Toarcien lors des phénomènes de crues dans trois sous-bassins versants du Clain. Il s'agit d'une part, pour les bassins versants de la Clouère et du Clain amont, de mettre à jour les modèles Tempo réalisés. En parallèle, des modèles sont établis pour les mêmes bassins versants avec le logiciel Gardenia. Enfin, une comparaison des deux méthodes est faite. D'autre part, pour le bassin versant du Clain moyen, les piézomètres existant n'avaient pas permis une modélisation satisfaisante des relations nappes-rivière. C'est pourquoi deux points d'eau ont été sélectionnés et équipés afin d'assurer un suivi piézométrique de cette zone puis d'en exploiter les données recueillies au sein de nouvelles modélisations.

Les différentes modélisations réalisées dans le cadre de ce travail, avec les logiciels TEMPO (basé sur l'analyse des corrélations entre les chroniques pluie, piézométrie, débit) et GARDENIA (modèle global basé sur des bilans de réservoir), conduisent aux mêmes conclusions : au cours d'un épisode de crue, l'apport des nappes au débit des rivières est faible, de l'ordre de 5 à 10 %, du moins en ce qui concerne les transits « lents » par les nappes du Dogger et de l'Infra-Toarcien. Cette dernière, en général captive, a une contribution très faible, fort logiquement, de quelques pourcents. Mais, il faut considérer qu'il s'agit là de transferts lents dans la nappe. Il ne faut pas considérer l'importance de l'incidence des nappes sur une crue au regard de ces chiffres. D'une part, en fonction de l'état de remplissage de la nappe, des réseaux karstiques peuvent être réactivés avec des circulations rapides vers les vallées, comme nous l'avons déjà souligné. D'autre part, si la nappe est « pleine » et ne peut plus assimiler d'eau de pluie, elle peut déborder dans des vallées habituellement sèches, et/ou favoriser les ruissellements superficiels (l'infiltration ne pouvant se faire).

D'une manière générale, les modélisations TEMPO et GARDENIA permettent de bien reproduire les débits des rivières dans les sous-bassins du Clain, mais pas les débits du Clain à Poitiers qui sont intégrateurs de tous les phénomènes du bassin versant. Aussi, le logiciel EROS (modèle hydrologique global pluie-débit spatialisé) a été utilisé pour réaliser une modélisation de tout le bassin, jusqu'à Poitiers. Le calage de ce nouveau modèle sur les chroniques observées est très satisfaisant. EROS permet de reproduire avec une bonne fiabilité les phénomènes de crue. Les résultats de cette modélisation sont aussi cohérents avec les résultats obtenus à partir des autres modèles (TEMPO et GARDENIA).

Afin de vérifier la cohérence des seuils d'alerte proposés sur les piézomètres, différentes simulations ont été réalisées à l'aide du logiciel EROS en intégrant des pluies « fictives » à des dates données sur les chroniques observées. Différents tests viennent conforter les seuils en nappe qui pourraient être mis à l'épreuve en gestion de crues, en modulant les alertes.

Il est apparu au cours de ce travail que le bassin du Clain, avec ses sous-bassins qui disposent presque tous de chroniques de débit, est favorable à une modélisation avec EROS. Le modèle mis au point reproduit bien les chroniques observées. La réalisation de nombreuses simulations permettraient d'affiner cette approche sur les seuils en nappe et de disposer in fine d'abaque de gestion non plus binaire (pluie/débit du Clain) comme actuellement, mais ternaire (pluie/débit/niveau de nappe).

Sommaire

1. Introduction.....	9
2. Présentation du bassin versant du Clain	11
2.1. GENERALITES.....	11
2.2. GEOLOGIE ET HYDROGEOLOGIE.....	12
2.3. ANALYSE PLUVIOMETRIQUE POUR LA MODELISATION.....	18
3. Modélisation des trois bassins pris en référence.....	21
3.1. BASSIN DU CLAIN AMONT	21
3.1.1. Contexte géographique et hydrographique	21
3.1.2. Géologie et hydrogéologie	22
3.1.3. Analyse et synthèse des données.....	23
3.1.4. Actualisation des modèles « Tempo ».....	25
3.1.5. Modélisation Gardenia.....	31
3.2. BASSIN DE LA CLOUERE	31
3.2.1. Contexte géographique et hydrographique	31
3.2.2. Géologie et hydrogéologie	33
3.2.3. Synthèse des données	34
3.2.4. Actualisation des modèles « Tempo ».....	37
3.2.5. Modélisation avec le logiciel Gardenia	41
3.3. BASSIN DU CLAIN MOYEN	43
3.3.1. Contexte géographique et hydrographique	44
3.3.2. Géologie et hydrogéologie	44
3.3.3. Choix des ouvrages à équiper	46
3.3.4. Synthèse des données	52
3.3.5. Modélisation avec Tempo	54
3.3.6. Modélisation Gardenia.....	59
4. Modélisation Eros au niveau de la station Saint-Cyprien	61
4.1. LE LOGICIEL EROS.....	61
4.2. RESULTATS DE LA MODELISATION : CALAGE.....	62
4.3. UTILISATION DU MODELE EN SIMULATION	66
4.3.1. Premier jeu de simulation.....	66
4.3.2. Confrontation des seuils sur les piézomètres aux épisodes de crue entre 2006 et 2012	68
4.3.3. Second jeu de simulations	71

5. Conclusion	73
6. Bibliographie	77

Liste des illustrations

Illustration 1 : Bassins versants étudiés et stations de mesure.....	12
Illustration 2 : Carte structurale du département de la Vienne sur un fond géologique simplifié	13
Illustration 3 : Coupe géologique de la vallée de la Boutonne à la vallée de la Vienne aval.....	15
Illustration 4 : Carte hydrogéologique du département de la Vienne	16
Illustration 5 : Schéma illustrant l'aquifère du Dogger du bassin du Clain	17
Illustration 6 : Bassins versants topographiques et hydrogéologiques du Clain à l'amont de Poitiers	17
Illustration 7 : Pluviométrie moyenne par bassin versant et isohyètes 1970/2000 selon la grille Aurhely de Météo France et localisation des pluviomètres utilisées	19
Illustration 8 : Exemple de corrélation entre deux postes pluviométriques	19
Illustration 9 : Bassin versant topographique du Clain amont.....	21
Illustration 10 : Géologie du bassin versant du Clain amont et situation des points de mesures	22
Illustration 11 : Chroniques piézométriques des niveaux sur le bassin versant du Clain amont	24
Illustration 12 : Comparaison des chroniques de débit à Petit-Allier et des chroniques piézométriques des Saizines (Infra-Toarcien) et Saint-Romain (Dogger).....	25
Illustration 13 : Modélisation du piézomètre La Clie (en haut : comparaison des niveaux piézométriques simulés et observés ; en bas : décomposition du signal suivant ses composantes)	26
Illustration 14 : Modélisation du piézomètre Saizines (en haut : comparaison des niveaux piézométriques simulés et observés ; en bas : décomposition du signal suivant ses composantes)	27
Illustration 15 : Modélisation du piézomètre de Saint-Romain (en haut : comparaison des niveaux piézométriques simulés et observés ; en bas : décomposition du signal suivant ses composantes).....	28
Illustration 16 : Modélisation du piézomètre du Bé (en haut : comparaison des niveaux piézométriques simulés et observés ; en bas : décomposition du signal suivant ses composantes)	29
Illustration 17 : Modélisation du débit du Clain amont à la station Petit Allier (en haut : comparaison des niveaux piézométriques simulés et observés ; en bas : décomposition du signal suivant ses composantes).....	30
Illustration 18 : Bassin versant de la Clouère.....	32
Illustration 19 : Géologie du bassin versant de la Clouère et situation des points de mesures.....	33
Illustration 20 : Chroniques piézométriques des niveaux sur le bassin versant du Clain amont	35
Illustration 21 : Corrélation du débit de la Clouère à Château-Larcher et niveau piézométrique à Charprée.....	36
Illustration 22 : Modélisation du piézomètre de Fontjoise (en haut : comparaison des niveaux piézométriques simulés et observés ; en bas : décomposition du signal suivant ses composantes).....	38
Illustration 23 : Modélisation du piézomètre de Dauffard (en haut : comparaison des niveaux piézométriques simulés et observés ; en bas : décomposition du signal suivant ses composantes).....	39
Illustration 24 : Modélisation du piézomètre de Charprée (en haut : comparaison des niveaux piézométriques simulés et observés ; en bas : décomposition du signal suivant ses composantes).....	40
Illustration 25 : Modélisation du débit à la station Château-Larcher (en haut : comparaison des niveaux piézométriques simulés et observés ; en bas : décomposition du signal suivant ses composantes).....	41

Illustration 26 : Modélisation Gardenia du bassin versant de la Clouère (débit à Château Larcher (en premier) et niveau piézométrique à Dauffard (en second)).....	42
Illustration 27 : Décomposition du débit simulé à Château-Larcher.....	43
Illustration 28 : Bassin versant du Clain moyen	44
Illustration 29 : Géologie du bassin versant du Clain moyen et situation des points de mesure	46
Illustration 30 : Localisation de tous les ouvrages sur le domaine considéré et des ouvrages sélectionnés (en rouge)	47
Illustration 31 : Photographie du puits de La Charbonnière	48
Illustration 32 : Enregistrement des niveaux au puits de La Charbonnière ; en haut : comparaison des niveaux avec les pluies, en bas : graphes annuels.....	49
Illustration 33 : Photographie du puits des Bocantes	50
Illustration 34 : Enregistrement des niveaux au puits des Bocantes ; en haut : comparaison des niveaux avec les pluies (pas de données sur 2012), en bas : graphes annuels	51
Illustration 35 : Chroniques piézométriques des niveaux sur le bassin versant du Clain amont : chroniques longues des piézomètres du réseau régional Poitou-Charentes et courtes des 2 points équipés pour cette étude.....	53
Illustration 36 : Modélisation du piézomètre de Vamoreau (en haut : comparaison des niveaux piézométriques simulés et observés ; en bas : décomposition du signal suivant ses composantes).....	54
Illustration 37 : Modélisation du piézomètre de Cagnoche (en haut : comparaison des niveaux piézométriques simulés et observés ; en bas : décomposition du signal suivant ses composantes).....	55
Illustration 38 : Modélisation du piézomètre de Bocantes (en haut : comparaison des niveaux piézométriques simulés et observés ; en bas : décomposition du signal suivant ses composantes).....	56
Illustration 39 : Modélisation du piézomètre de L'Anjouinière (en haut : comparaison des niveaux piézométriques simulés et observés ; en bas : décomposition du signal suivant ses composantes).....	57
Illustration 40 : Modélisation du débit à la station Saint-Cyprien (en haut : comparaison des niveaux piézométriques simulés et observés ; en bas : décomposition du signal suivant ses composantes).....	58
Illustration 41 : Modélisation de la station de pont St-Cyprien avec les débits à Danlot et le piézomètre de Cagnoche en entrée	58
Illustration 42 : Modélisation de la station de Pont St-Cyprien avec les débits à Danlot et le piézomètre des Bocantes en entrée.....	59
Illustration 43 : Schéma conceptuel de la modélisation du Clain à Saint-Cyprien sous EROS	62
Illustration 44 : Comparaison des débits simulés et observés aux différentes stations hydrométriques du modèle	64
Illustration 45 : Reconstitution des débits en aval du bassin versant du Clain amont (m ³ /s).....	64
Illustration 46 : Comparaison des niveaux piézométriques simulés et observés aux stations de Saint-Romain, Dauffard, Bocantes et Cagnoches	65
Illustration 47 : Décomposition de l'écoulement entre écoulement rapide et écoulement souterrain	65
Illustration 48 : Représentation des différents scénarios simulés	68
Illustration 49 : Représentation des débits à Saint-Cyprien et des niveaux piézométriques à Bocantes, Dauffard, Saint-Romain et Cagnoche et de leurs seuils respectifs.....	69
Illustration 50 : Tests des pluies à 30 et 60 mm pour l'événement du 05/03/2006	71
Illustration 51 : Tests des pluies à 20, 40 et 60 mm pour l'événement du 14/10/2012.....	72

Liste des tableaux

Tableau 1 : Moyenne des postes pluviométriques utilisés sur la période 1990-2012.....	18
Tableau 2 : Exemples des coefficients de corrélation entre différents pluviomètres	20
Tableau 3 : Synthèse des données sur le bassin du Clain amont	23
Tableau 4 : Fréquences de retour des débits de crue selon les lois de Gumbel à la station de Voulon	23
Tableau 5 : Corrélations débit du Clain à Vivonne – niveau aux piézomètres de Charpreé, LeBe, Saizines, Saint-Romain et La Clie.....	25
Tableau 6 : Pourcentage de contribution des eaux souterraines pour des débits supérieur à 20 m ³ /s ou 40 m ³ /s à la station Petit-Allier.....	31
Tableau 7 : Synthèse des données sur le bassin de la Clouère	34
Tableau 8 : Fréquences de retour des débits de crue selon les lois de Gumbel à la station de Château-Larcher.....	35
Tableau 9 : Corrélation débit de la Clouère à Château-Larcher – niveau piézométrique à Charprée, Dauffard et Fontjoise	36
Tableau 10 : Pourcentage de contribution des eaux souterraines pour des débits supérieurs à 10 m ³ /s à la station de Château-Larcher	41
Tableau 11 : Pourcentage de contribution des eaux souterraines pour des débits supérieurs à 10 m ³ /s à la station Château-Larcher	43
Tableau 12 : Localisation des deux nouveaux piézomètres	51
Tableau 13 : Synthèse des données sur le bassin du Clain moyen	52
Tableau 14 : Fréquences de retour des débits de crue selon les lois de Gumbel à la station de Pont St-Cyprien	52
Tableau 15 : Corrélations entre le débit du Clain à Poitiers et les niveaux piézométriques à Cagnoche, Bocantes, Vamoreau, L'Anjouinière et Fontjoise	53
Tableau 16 : Contribution des eaux souterraines pour une lame d'eau écoulee supérieur à 2.1 m à la station Saint-Cyprien	66
Tableau 17 : Bilans par sous bassins fournis par le modèle EROS	66
Tableau 18 : Bilans intégrés par bassins versant fournis par le modèle EROS	66
Tableau 19 : Définition des scénarios testés.....	68
Tableau 20 : Seuils piézométrique proposés	68
Tableau 21 : Historique des mises en vigilance jaune sur le Clain sur la période 2006-2012.....	70
Tableau 22 : Récapitulatif des contributions des eaux souterraines aux débits moyens et aux débits de crue.....	74
Tableau 23 : Valeurs seuils des débits et niveaux piézométriques sur les bassins versants étudiés	75

Liste des annexes

Annexe 1 Légende de la carte géologique.....	79
Annexe 2 Le logiciel TEMPO.....	85
Annexe 3 Le logiciel GARDENIA	93
Annexe 4 Le logiciel EROS	99
Annexe 5 Seuils de vigilance définis par la DREAL	105

1. Introduction

En 2008-2009, à la demande du SPC – Service de Prévision des Crues - le BRGM – Direction Régionale Poitou-Charentes – a réalisé une étude permettant d'améliorer la connaissance sur les relations nappe-rivière en période de crue, dans l'ensemble des bassins-versants du bassin du Clain, à l'amont de Poitiers.

Ce travail s'est notamment effectué en utilisant le logiciel Tempo (rapport BRGM RP-56481-FR), déjà utilisé dans la région Poitou-Charentes pour l'étude des relations nappe-rivière lors des périodes d'étiage. Il est ressorti de cette analyse que ce sont sur les bassins de la Clouère et du Clain amont que les relations entre les nappes du Dogger et/ou de l'Infra-Toarcien et les cours d'eau peuvent être clairement mises en évidences.

L'objectif de la présente étude est d'affiner la connaissance acquise sur l'influence des nappes lors des phénomènes de crues dans trois sous-bassins versants du Clain (Clain amont, Clain moyen, Clouère), en utilisant Tempo (boîte noire) et en testant un autre logiciel : Gardenia (modèle réservoir). La DDT 86 souhaite en outre disposer d'éléments d'aide et d'alerte pour anticiper l'arrivée de crues le plus en amont possible des zones d'impact.

Les principales données de base collectées et utilisées pour cette étude sont :

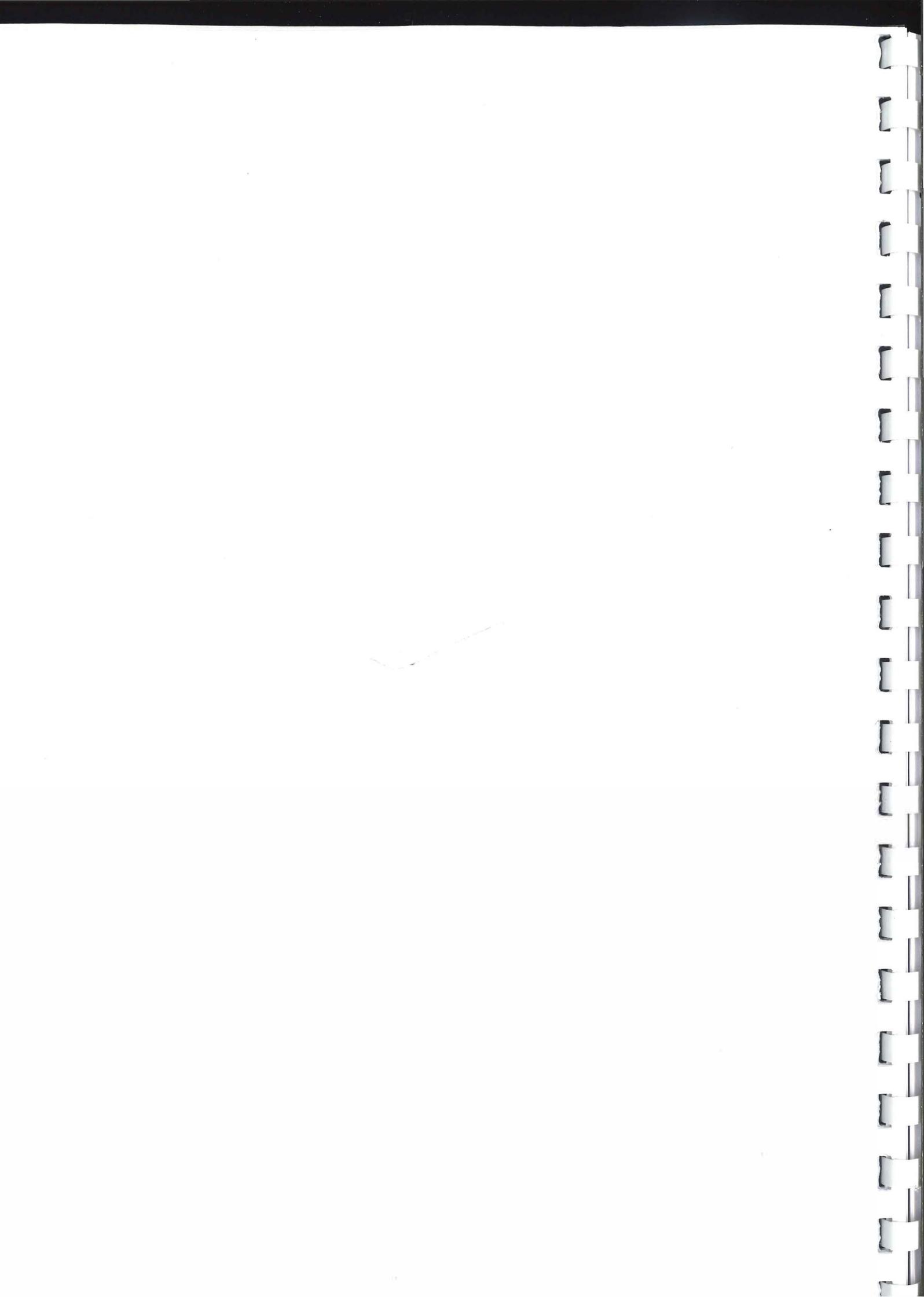
- Les chroniques piézométriques (gérées par l'ORE),
- Les précipitations et évapotranspirations potentielles (Climathèque de Météo France),
- Les chroniques hydrologiques (données SPC),
- Les données sur les points cotés en bordure des cours d'eau (données DDAF),
- Les points existants dans la Banque de données du Sous-Sol (BSS) susceptibles d'être équipés pour un suivi des niveaux piézométriques.

D'une part, il s'agit, pour les bassins versants de la Clouère et du Clain amont, de mettre à jour les modèles Tempo (annexe 2) réalisés en intégrant les données depuis le 1^{er} janvier 2008. En parallèle, des modèles sont établis pour les mêmes bassins versants avec le logiciel Gardenia (annexe 3), afin de comparer les deux méthodes (modèle global type boîte noire et réservoir).

D'autre part, pour le bassin versant du Clain moyen, les piézomètres existant n'avaient pas permis une modélisation satisfaisante des relations entre les niveaux piézométriques et les débits de rivière. C'est pourquoi deux points d'eau ont été sélectionnés et équipés afin d'assurer un suivi piézométrique de cette zone puis d'en exploiter les données recueillies au sein de nouvelles modélisations.

Le but est de mettre au point un modèle à différentes stations de débit du Clain en période de crue, pour répondre aux questions suivantes :

- Quelle contribution des nappes au débit de crues des rivières ?
- Pour la prévention des crues, peut-on mettre en place des indicateurs pertinents en nappe pour mieux anticiper ces phénomènes ?



2. Présentation du bassin versant du Clain

2.1. GENERALITES

Le bassin versant du Clain, en amont de Poitiers, est situé en totalité dans la région Poitou-Charentes. Ce cours d'eau prend sa source à +215 m NGF d'altitude dans la commune de Hiesse en Charente et rejoint la Vienne à une altitude de +50 m NGF, dans le département de la Vienne au sud de Châtelleraut, au niveau de la commune de Cenon-sur-Vienne (Illustration 1).

Ce bassin versant peut être divisé en 7 sous-bassins en amont de la ville de Poitiers. Il s'agit des sous-bassins de [les bassins versants étudiés sont en caractère gras] :

- *La Dive du Sud* qui rejoint le *Clain* dans le département de la Vienne, à la limite entre les communes d'Anché et de Voulon ; son affluent principal est la Bouleure, qui prend également sa source en Deux-Sèvres et se jette dans la Dive du sud à environ 400 m de la confluence de cette dernière avec le Clain, au niveau de la limite entre les communes d'Anché et de Voulon ;
- **Le Clain amont** correspond à l'écoulement du *Clain* depuis sa source jusqu'à sa confluence avec la *Vonne*, dans la commune de Vivonne dans la Vienne ;
- *La Vonne* qui prend sa source en Deux-Sèvres dans la commune de Vouhé et rejoint *le Clain* dans la commune de Vivonne dans la Vienne ;
- **La Clouère** qui prend sa source en Charente, dans la commune de Lessac. Elle rejoint *le Clain* à la limite des communes de Château-Larcher et de Vivonne dans le département de la Vienne.
- **Le Clain moyen** correspond à l'écoulement du *Clain* depuis la commune de Vivonne jusqu'à sa confluence avec la *Boivre*, à Poitiers ;
- *Le Miosson* qui prend sa source dans la commune de Vernon dans le département de la Vienne. Il rejoint *le Clain* dans la commune de Saint-Benoît au sud de Poitiers ;
- *La Boivre* qui prend sa source dans les Deux-Sèvres, dans la commune de Vasles, limitrophe avec le département de la Vienne. Elle rejoint le *Clain* dans la commune de Poitiers après avoir traversé le secteur de la gare.
- Enfin, citons à l'aval de Poitiers *l'Auxance* et *la Pallu*, affluents en rive gauche du *Clain* ; en rive droite, il n'y a pas de cours d'eau importants mais un vaste massif karstique avec des vallées sèches où les écoulements sont souterrains.

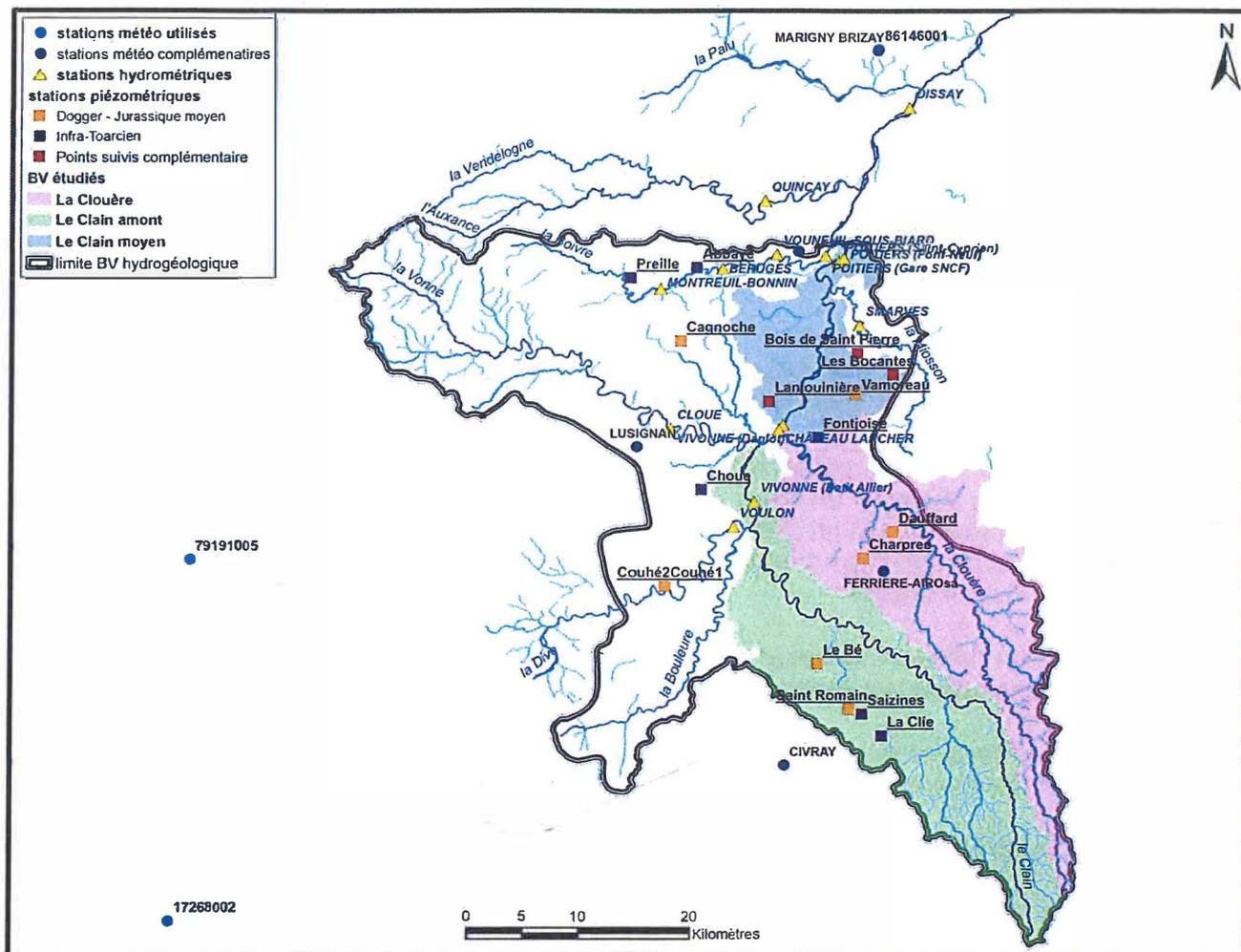


Illustration 1 : Bassins versants étudiés et stations de mesure

2.2. GEOLOGIE ET HYDROGEOLOGIE

Le bassin versant du Clain s'étend essentiellement dans le département de la Vienne, excepté les secteurs amont des sous-bassins versants. Un récent travail de synthèse du département de la Vienne présente de manière assez détaillée le contexte géologique et hydrogéologique de ce département (rapport BRGM RP-61773-FR) dont nous reprenons ci-dessous quelques éléments et illustrations.

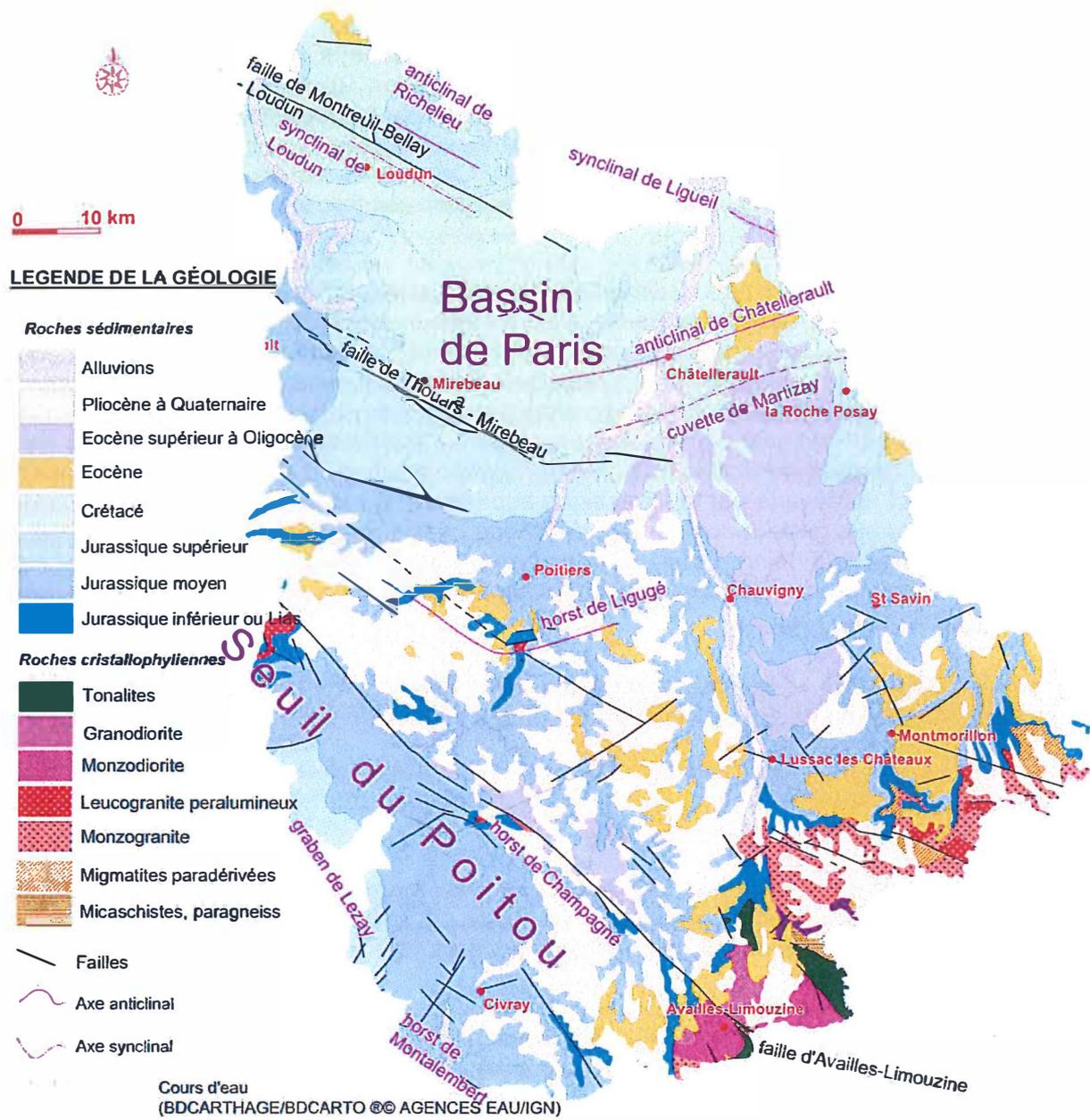


Illustration 2 : Carte structurale du département de la Vienne sur un fond géologique simplifié

Le bassin du Clain, affluent de la Vienne et donc intégré dans le bassin de la Loire, est sur le « versant Bassin de Paris » du Seuil du Poitou (Illustration 2), qui sépare les deux grands bassins sédimentaires français (parisien et aquitain) et les massifs Armoricaïn et Central. La plupart des cours d'eau du bassin du Clain prennent naissance sur le socle de ces deux massifs (Auxance, Boivre, Vonne, Clain, Clouère). De part et d'autre du Seuil du Poitou, le socle s'enfonce en profondeur, « en marches d'escalier » du fait de grandes failles (Illustration 3).

Au-dessus du socle, l'empilement sédimentaire va s'épaissir progressivement depuis le Seuil du Poitou vers le cœur du Bassin de Paris, avec à l'affleurement des terrains de plus en plus récents. Ces dépôts sédimentaires sont principalement calcaires et d'âge secondaire (Jurassique et Crétacé), du moins pour le bassin du Clain. On trouve en premier lieu, au-dessus du socle, le Jurassique inférieur (ou Lias), composé de séries calcaires et de dolomies plus ou moins gréseuses se terminant par les marnes grises caractéristiques du Toarcien, puis ensuite les calcaires du Dogger (ou Jurassique moyen) épais d'environ 50 m dans le bassin du Clain. Ces derniers sont recouverts par le Jurassique supérieur (ou Malm), essentiellement marneux, que l'on trouve au sud dans la zone « effondrée » du bassin de Lezay (Dive du Sud) et au nord de Poitiers (bassin de la Pallu). Enfin, on trouve en surface des placages principalement sablo-argileux mélangeant des altérites (principalement des calcaires du Dogger), des dépôts fluviaux grossiers, des limons.

Le bassin versant du Clain se caractérise donc par un contexte hydrogéologique varié (Illustration 4) que l'on peut résumer comme suit (du plus ancien au plus récent) :

- le socle (amont des bassins versants) est peu propice aux circulations (et nappes) souterraines : le réseau hydrologique est dense témoignant de ruissellements prépondérants (les cours d'eau sont très réactifs à la pluie).

- les calcaires, dolomies et grès sous les marnes toarciennes (Infra-Toarcien) correspondent à un important aquifère bien développé sur le Seuil du Poitou jusqu'à Poitiers au moins (car les terrains sont de moins en moins aquifères vers le nord-est du département de la Vienne).

- les calcaires du Dogger constituent l'essentiel des plateaux à modelé karstique du bassin du Clain. Il renferme en effet un aquifère karstique (par dissolution des calcaires) qui donne en général des débits importants (sources et forages). Les rivières entaillent ces calcaires, souvent jusqu'aux marnes du Toarcien. Sous les plateaux, le niveau de cette nappe est la plupart du temps profond (plusieurs dizaines de mètres) mais elle sort dans les vallées grâce à de grosses sources (galerie de Fleury, La Jalière, sources du Bé et des Roches-Prémarie...) (cf. Illustration 5). En règle générale cette nappe est libre mais elle peut devenir captive sous les marnes du Callovien et du Jurassique supérieur (au sud bassin de la Dive du Sud, au nord bassin de la Pallu).

- les marnes et calcaires du Jurassique supérieur renferment une nappe peu profonde correspondant principalement à une frange d'altération superficielle ne dépassant pas en règle générale 20 m de profondeur. C'est une nappe en relation étroite avec les rivières très exploitée pour l'irrigation dans les bassins de la Dive du Sud et de la Pallu.

- les terrains sablo-argileux recouvrant les plateaux peuvent emmagasiner beaucoup d'eau entre les grains de la matrice mais possèdent de médiocres caractéristiques en matière de perméabilité (mobilité de l'eau dans la roche). C'est donc un « aquifère » qui retarde le transfert des eaux de pluie vers les rivières (et les nappes des calcaires sous-jacents). Toutefois, en période de fortes pluies, leur mauvaise perméabilité implique des ruissellements superficiels prépondérants sur l'infiltration en sous-sol.

Le bassin du Clain correspond donc principalement à la superposition de deux grands aquifères, celui de l'Infra-Toarcien et celui du Dogger, séparés par les marnes du Toarcien. Le premier est en général captif sous les marnes (il affleure peu), alors que le second est le plus souvent libre. Le caractère karstique de ces aquifères fait que les transferts souterrains peuvent être rapides, ce qui peut venir amplifier un phénomène de crue.

Dans ce type de milieu, une pluie forte à un moment où les niveaux des nappes sont bas n'engendre pas forcément des inondations à l'aval, alors qu'une pluie moyenne avec des nappes pleines peut en revanche amener de tels phénomènes ; d'où l'intérêt de tenir compte des niveaux de nappes pour la prévision des crues.

Enfin, du fait des réseaux souterrains karstiques, le bassin versant topographique ne correspond pas toujours au bassin hydrogéologique. C'est notamment le cas, dans le bassin du Clain, des bassins de la Dive du Sud, de la Vonne, de la Clouère et du Miosson (Illustration 6).

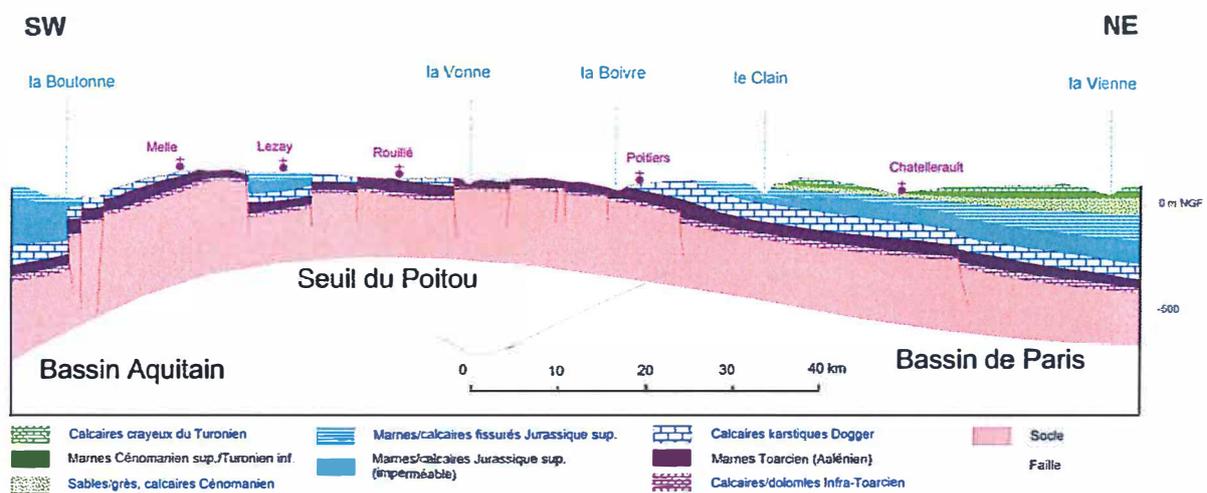


Illustration 3 : Coupe géologique de la vallée de la Boutonne à la vallée de la Vienne aval

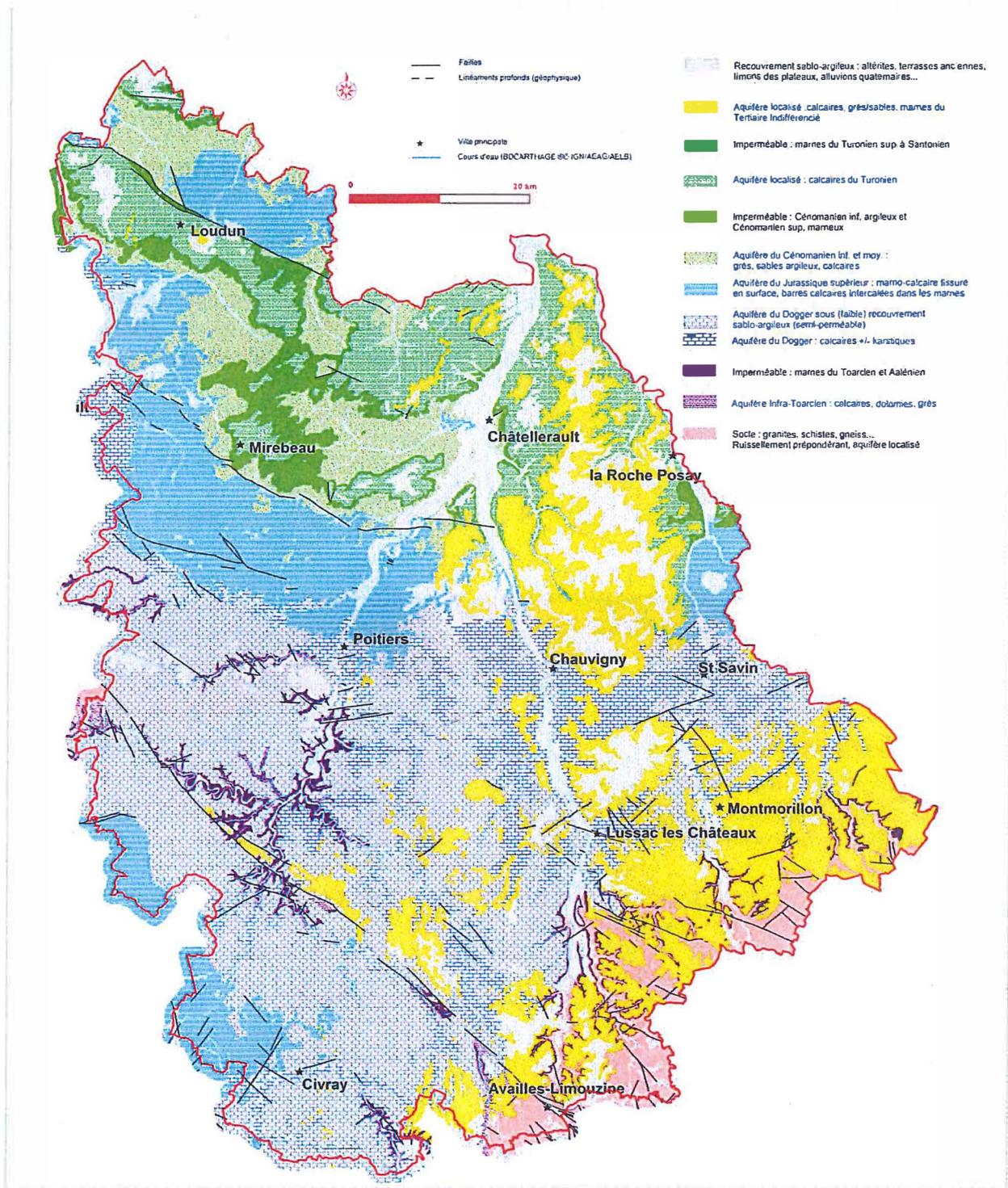


Illustration 4 : Carte hydrogéologique du département de la Vienne

Nappe karstique

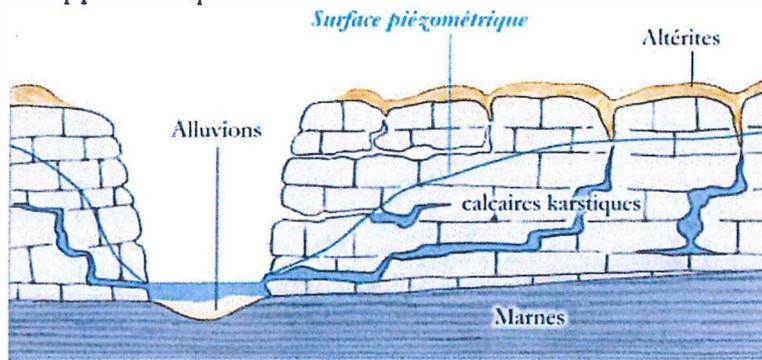


Illustration 5 : Schéma illustrant l'aquifère du Dogger du bassin du Clain

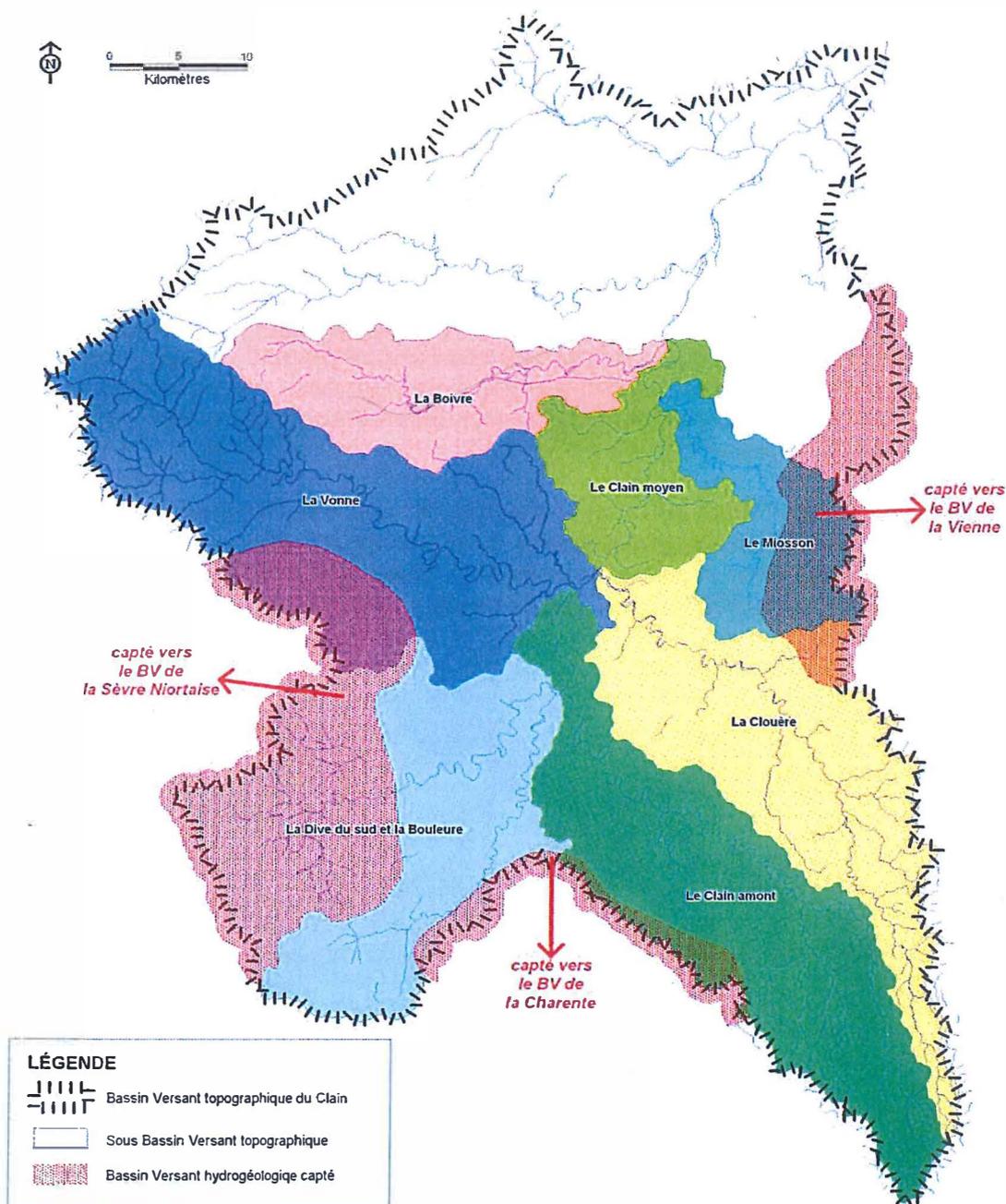


Illustration 6 : Bassins versants topographiques et hydrogéologiques du Clain à l'amont de Poitiers

2.3. ANALYSE PLUVIOMETRIQUE POUR LA MODELISATION

A partir de la grille Aurhely (grille de 100 km) de la pluviométrie moyenne sur la période 1970-2000, un calcul de la pluie moyenne par bassin versant a été effectué. L'illustration 7 montre les résultats. On peut y observer un gradient de la pluie d'Ouest en Est (influence océanique) et l'impact de la topographie (massifs armoricain et central, Seuil du Poitou).

Pour les stations météorologiques utilisées dans la présente étude (Illustration 7) une moyenne de chaque poste est présentée dans le tableau 1 .

	P_Marigny	P_Loudun	P_Nuaille	P_LaRochelle	P_Glenay	P_Civray	P_Ferriere	P_Lusignan	P_Poitiers
Moyenne 1990-2011		620.77	845.28	760.88	628.54	829.41	760.08	797.34	682.13
Moyenne 1992/2011	616.36	631.69	847.26	769.10	637.26	842.19	779.64	808.42	700.42

Tableau 1 : Moyenne des postes pluviométriques utilisés sur la période 1990-2012

Pour les modélisations **Tempo**, une pluie « optimale » (Réf. Pinault JL., 2001), est utilisée :

$$P_{opt} = 0.41 P_{Rochelle} + 0.27 P_{Loudun} + 0.33 P_{Nuaille}$$

Pour les modélisations **Gardenia**, des pluviomètres supplémentaires, localisés à l'intérieur ou à proximité des bassins versants, sont exploités. Afin de sélectionner le pluviomètre représentatif du bassin versant pour la modélisation globale, on vérifie que les postes soient bien situés par rapport aux isohyètes et que la moyenne du poste est comparable à la pluviométrie moyenne calculée sur toute la superficie du bassin versant. S'il y a un écart entre ces deux moyennes, un coefficient correctif sur la pluie globale du bassin versant peut être introduit comme paramètre d'ajustement dans le modèle.

Les données de pluie introduites dans le modèle doivent être complètes tout au long de la période de calage. Les données manquantes dans les chroniques ont été complétées à partir des stations pluviométriques les mieux corrélées. L'illustration 8 et le Tableau 2 montrent des exemples d'analyse de corrélation effectuée entre les postes pluviométriques.

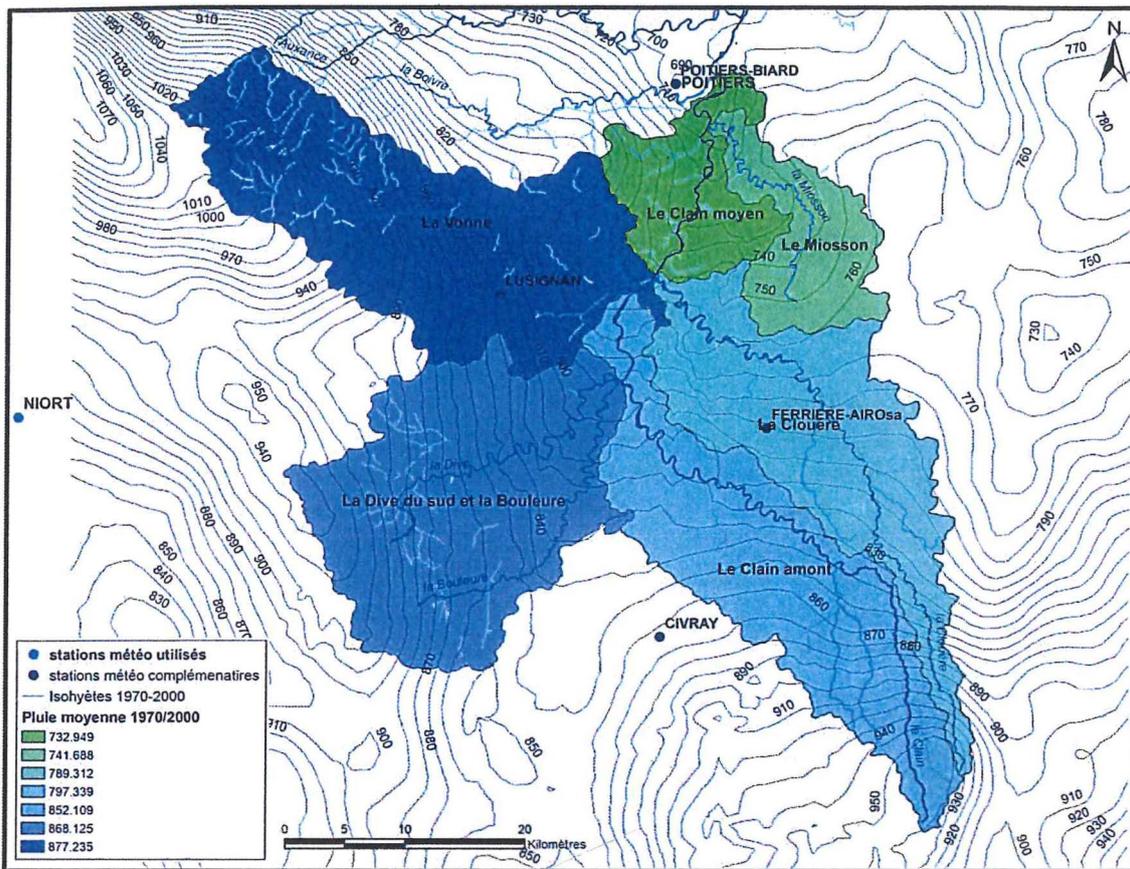


Illustration 7 : Pluviométrie moyenne par bassin versant et isohyètes 1970/2000 selon la grille Aurhely de Météo France et localisation des pluviomètres utilisés

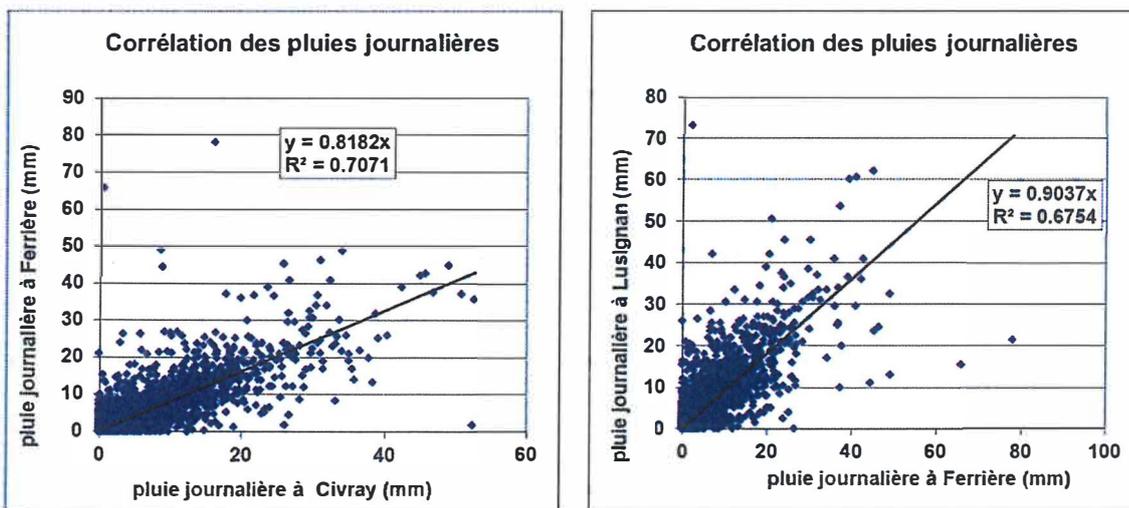


Illustration 8 : Exemple de corrélation entre deux postes pluviométriques

	P_Marigny	P_Loudun	P_Nuaille	P_LaRoche	P_Glenay	P_Civray	P_Ferriere	P_Lusignan	P_Poitiers
P_Civray	0.40	0.36	0.61	0.39	0.42		0.70	0.60	0.50
P_Ferriere	0.47	0.40	0.53	0.34	0.43	0.70		0.67	0.56

Tableau 2 : Exemples des coefficients de corrélation entre différents pluviomètres

3. Modélisation des trois bassins pris en référence

3.1. BASSIN DU CLAIN AMONT

3.1.1. Contexte géographique et hydrographique

Le bassin versant du Clain amont d'une superficie de 427 km² est à cheval sur les départements de la Charente et de la Vienne (Illustration 9).

Ce cours d'eau prend sa source à +210 m NGF d'altitude environ au sud de la commune de Hiesse dans le département de la Charente. Il est rejoint par la Vonne à une altitude de +87 m NGF à Vivonne après avoir parcouru 85 km. Sa pente moyenne est de 0,14 %. Le Clain amont prend naissance dans un paysage aux faibles dénivelés (10 à 15 m de différence d'altitude entre les vallées et l'amorce des plateaux) dans les formations du socle. A la cote de +155 m NGF, dans le secteur de la commune de Pressac (16), le Clain s'écoule dans des formations calcaires du Lias puis du Dogger et le cours d'eau devient plus sinueux et plus encaissé (30 à 40 m de différence entre la vallée et l'amorce des plateaux).

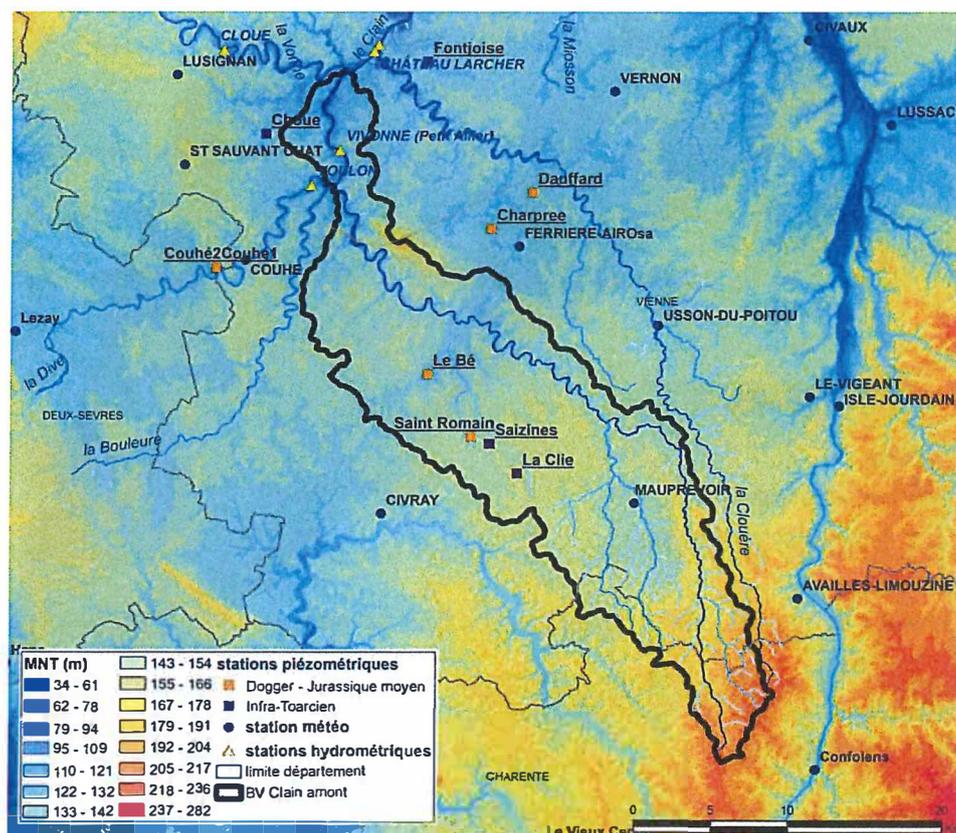


Illustration 9 : Bassin versant topographique du Clain amont

3.1.2. Géologie et hydrogéologie

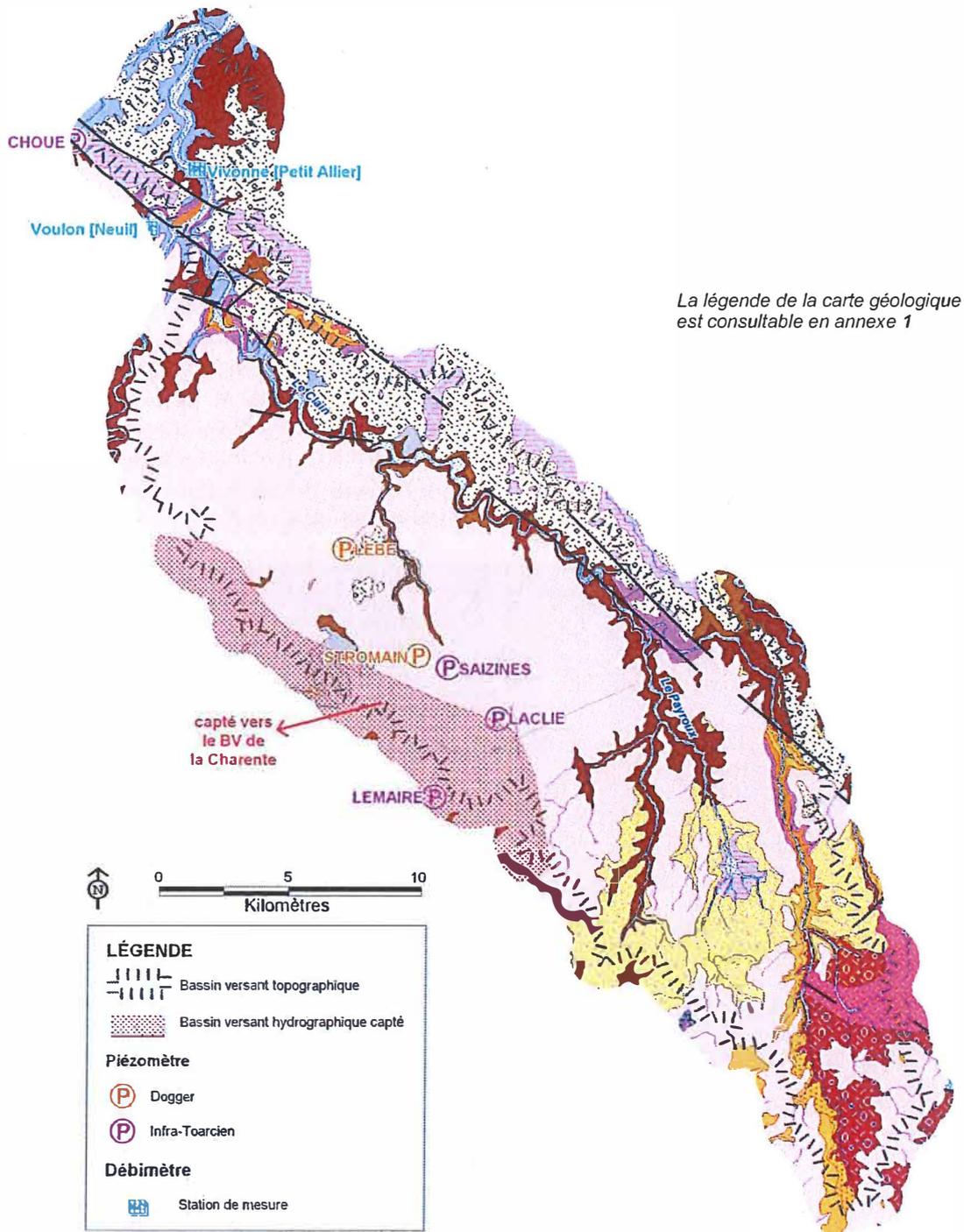


Illustration 10 : Géologie du bassin versant du Clain amont et situation des points de mesures

Ce qui caractérise cette partie amont du bassin versant du Clain est la forte dissymétrie avec une rive droite très réduite et une rive gauche relativement large.

La rive droite longe une grande faille, l'accident d'Availles-Limouzine, qui fait remonter le socle et le Jurassique inférieur (« horst » de Champagné-St-Hilaire). Cette remontée doit expliquer en grande partie le raccourcissement de la rive droite.

En rive gauche, entre Clain et Charente/Bouleure, on trouve un vaste plateau calcaire avec un modelé typiquement karstique de vallées sèches. Sur ce plateau, le réseau hydrographique est peu dense ; il est à noter toutefois l'existence du Bé-de-Sommières alimenté par une importante zone de sources. Plusieurs piézomètres permettent de suivre les nappes du Dogger (LEBE, ST-ROMAIN) et de l'Infra-Toarcien (SAIZINES, LACLIE).

Les principaux apports en eau se font donc à partir de la rive gauche. Mais le bassin topographique est là légèrement différent du bassin hydrogéologique. Un suivi pendant deux ans de ce secteur (rapport BRGM RP55573FR « Recherche de la limite entre les bassins versants de la Charente et du Clain »), avec des relevés piézométriques mensuels, des analyses physico-chimiques et un traçage, a permis de proposer une limite d'interfluve entre les bassins versants du Clain et de la Charente. Bien que la piézométrie du Dogger, qui sert de base à cette délimitation, soit assez « plate » dans le secteur, une limite assez nette se dégage avec un empiétement du bassin de la Charente sur celui du Clain (cf. Illustration 6).

3.1.3. Analyse et synthèse des données

Le Tableau 3 recense les données disponibles sur le bassin du Clain amont.

BASSIN VERSANT	PLUIE	ETP	PIEZOMETRIE	STATION HYDROMETRIQUE	STATION HYDROMETRIQUE AMONT et/ou DES SOUS BV
Clain amont	Civray (86078002)	Poitiers-Biard	Le Bé (Dogger)	Le Clain à Vivonne (Le Petit Allier) L2201610 (965 km ²) 1994-2012	La Dive du Sud à Voulon (Neuil) L2103020 (559 km ²) 1996-2012
	Couhe (86082003)		Saint-Romain (Dogger)		
	Lusignan (86139001)		Saizines (Infra-Toarcien)		
			La Clie (Infra-Toarcien)		

Tableau 3 : Synthèse des données sur le bassin du Clain amont

Débits

Le débit journalier maximal enregistré à la station de la Dive du Sud à Voulon est de 114 m³/s.

Le Tableau 4 présente les fréquences de retour des débits de crue selon les lois de Gumbel.

fréquence	QJ (m ³ /s)
biennale	41.00 [34.00;51.00]
quinquennale	64.00 [54.00;84.00]
décennale	79.00 [66.00;110.0]
vicennale	93.00 [78.00;130.0]
cinquantennale	non calculé
centennale	non calculé

Tableau 4 : Fréquences de retour des débits de crue selon les lois de Gumbel à la station de Voulon

Niveaux piézométriques

L'illustration 11 présente les chroniques de niveaux des piézomètres du bassin versant (Saint-Romain et Le Bé – Dogger ; Saizines et La Clie, Infra-Toarcien). A noter que le piézomètre de La Clie est très influencé par les prélèvements.

Le piézomètre de Saint-Romain est caractérisé par des débordements à une cote d'environ +132 m NGF qui correspond au toit argileux recouvrant les calcaires du Dogger. En période de hautes eaux, une fois cette cote atteinte, le réservoir ne se remplirait plus et l'excédent serait exporté. Il existe près de ce secteur des gouffres, manifestations superficielles de la karstification (Thinon-Larminach et *al.*, 2008) ; on peut donc penser que l'excédent d'eau peut être exporté par ces mêmes conduits vers des vallées sèches, ou ressortir au niveau de dolines.

Comme le piézomètre de St-Romain, un niveau de débordement à une cote de +119 m NGF est visible pour le piézomètre du Bé qui présente par ailleurs une plus grande inertie.

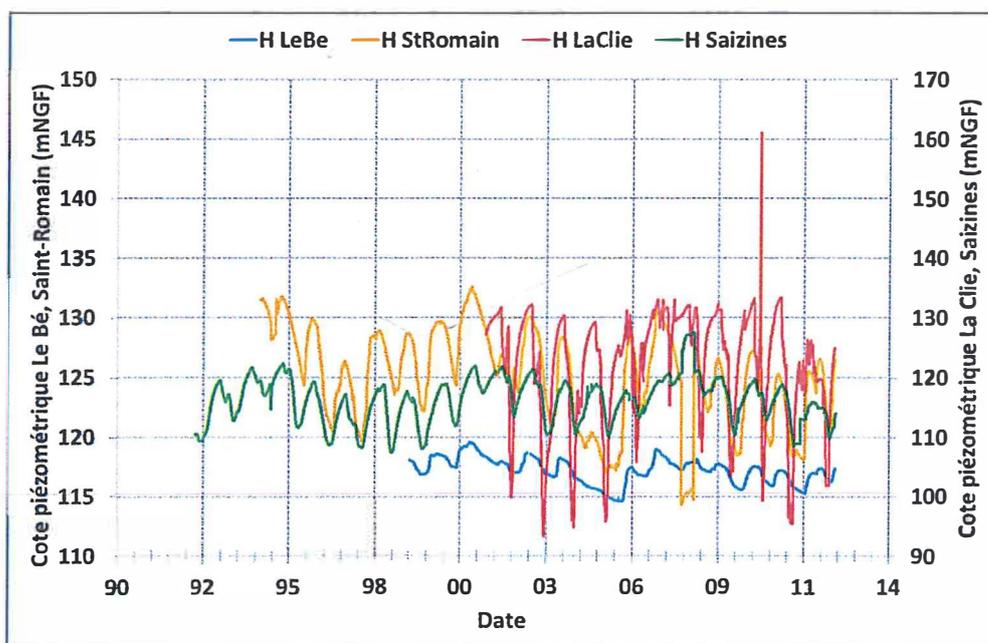


Illustration 11 : Chroniques piézométriques des niveaux sur le bassin versant du Clain amont

Corrélation des données niveau/débit

La comparaison des chroniques de débit du Clain à Petit-Allier avec celles des piézomètres (Illustration 12) montre plusieurs choses :

- L'existence de cycles pluriannuels à la fois sur le piézomètre des Saizines (nappe infra-toarcienne) et Saint-Romain (Dogger),
- Un décalage net entre les pics de hautes eaux de la rivière et ceux enregistrés pour les nappes. Le Tableau 5 donne une estimation de ces décalages en jours (de l'ordre de deux mois pour les piézomètres de Bé, des Saizines et de Saint-Romain).

Débit	Piézomètre	Corrélogramme croisé	
		décalage en jours	valeur max
Le Clain à Vivonne (Le Petit Allier)	Charpree	0	0.86
	LeBe	67	0.565
	Saizines	63	0.43
	Saint-Romain	57	0.55
	La Clie	12	0.381

Tableau 5 : Corrélations débit du Clain à Vivonne – niveau aux piézomètres de Charpree, LeBe, Saizines, Saint-Romain et La Clie

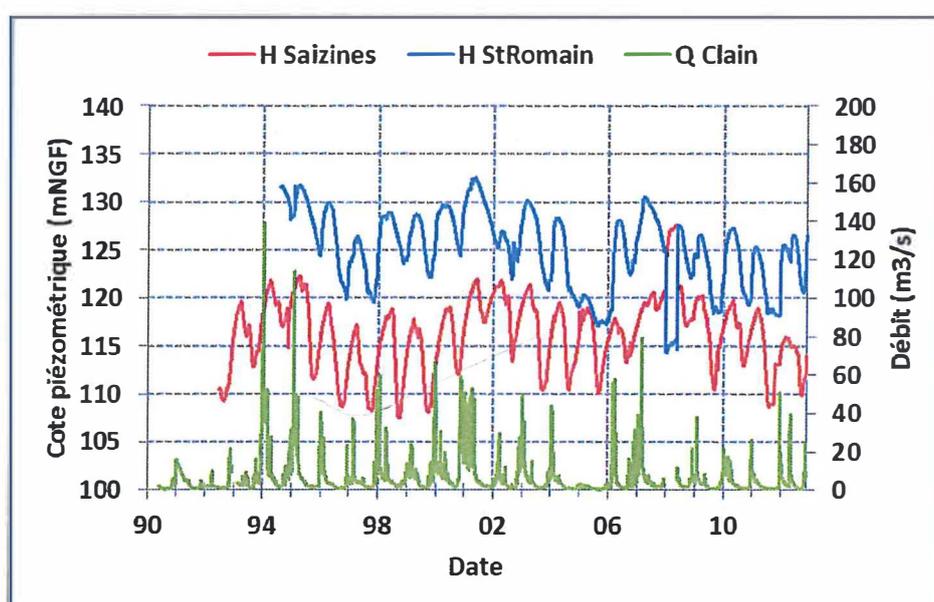


Illustration 12 : Comparaison des chroniques de débit à Petit-Allier et des chroniques piézométriques des Saizines (Infra-Toarcien) et Saint-Romain (Dogger)

3.1.4. Actualisation des modèles « Tempo »

Piézomètre de la Clie (06381X0048) – Infra-Toarcien - Illustration 13

Ce piézomètre est très impacté par des pompages et la courbe enregistrée montre un palier à une cote d'environ +131 m NGF. Ces deux phénomènes ont été pris en compte dans la modélisation par l'introduction d'une fonction pompage et d'une fonction débordement.

Seule la composante lente a été conservée au niveau de la fonction de transfert avec un coefficient de Nash¹ égal à 0.59.

¹ Le critère de Nash quantifie la précision des simulations : il varie de $-\infty$ à 1. La valeur 1 correspond à une estimation parfaite. La simulation est considérée généralement comme bonne quand le coefficient est supérieur à 0.7

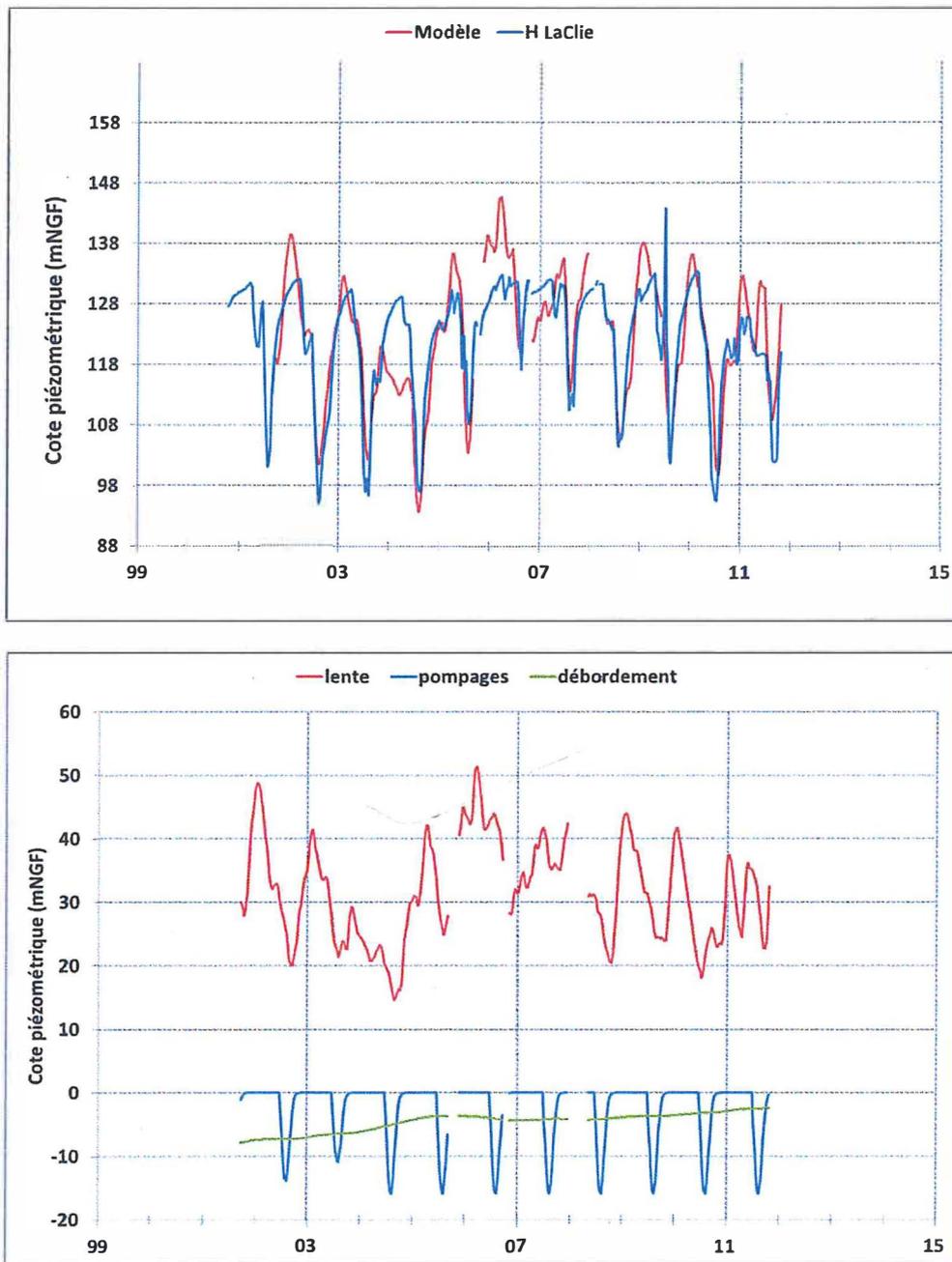


Illustration 13 : Modélisation du piézomètre La Clie (en haut : comparaison des niveaux piézométriques simulés et observés ; en bas : décomposition du signal suivant ses composantes)

Piézomètre de Saizines - Infra-Toarcien - Illustration 14

Le coefficient de Nash résultant du calage vaut 0.62 et les pompages bien marqués sur la chronique mesurée sont assez bien reproduits avec l'entrée d'une fonction pompage.

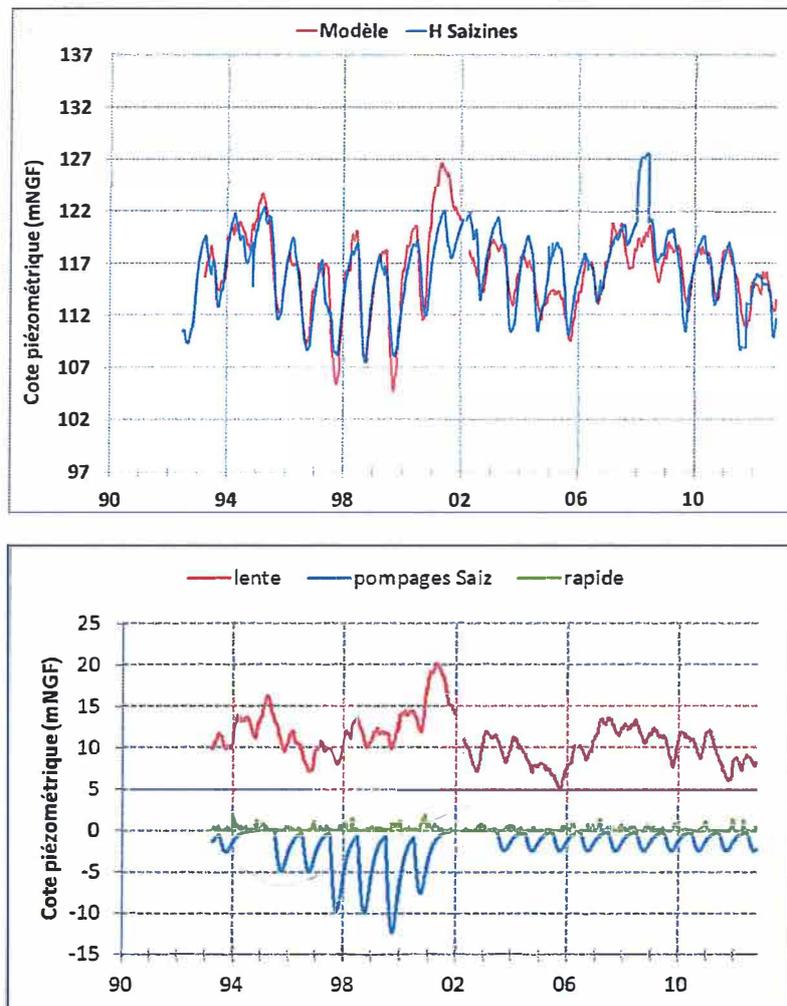


Illustration 14 : Modélisation du piézomètre Saizines (en haut : comparaison des niveaux piézométriques simulés et observés ; en bas : décomposition du signal suivant ses composantes)

Piézomètre de Saint-Romain – Dogger - Illustration 15

Le calage du modèle est amélioré par l'introduction d'une fonction de pompage et le coefficient de Nash résultant vaut 0.71.

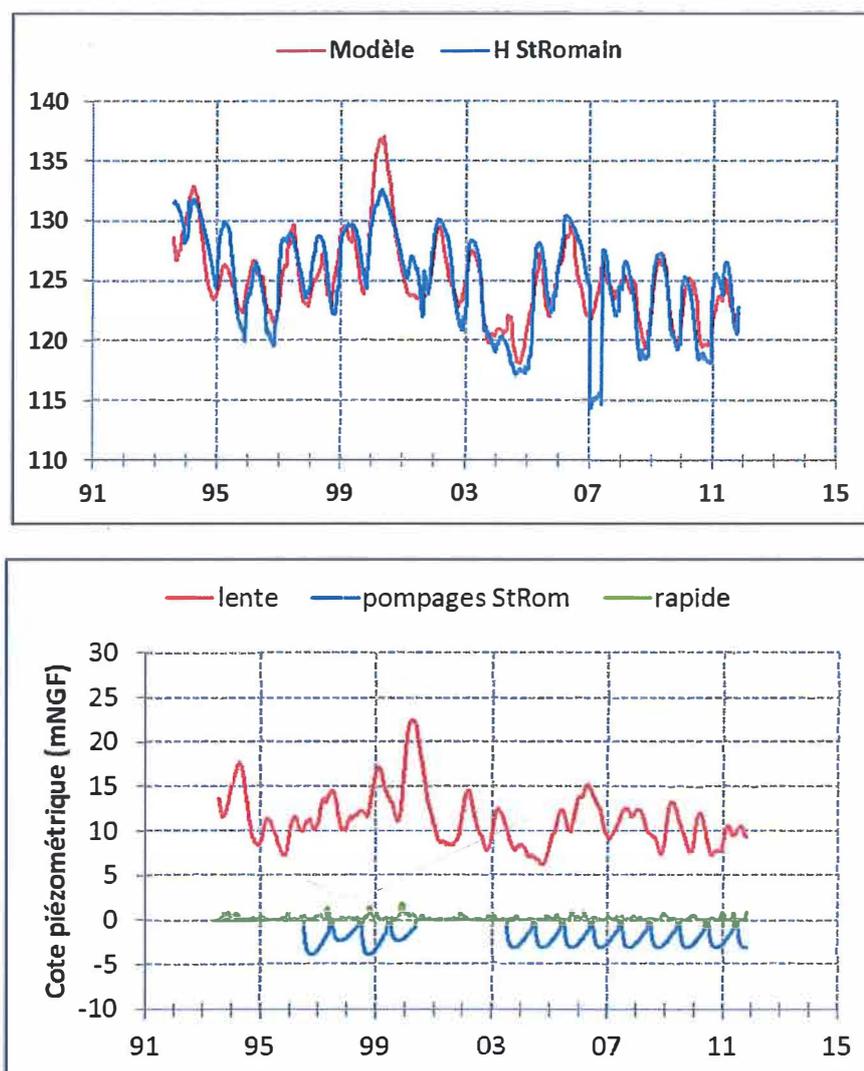


Illustration 15 : Modélisation du piézomètre de Saint-Romain (en haut : comparaison des niveaux piézométriques simulés et observés ; en bas : décomposition du signal suivant ses composantes)

Piézomètre de Le Bé - Dogger

Le piézomètre du Bé capte l'aquifère du Dogger qui est ici légèrement captif sous 8 m d'argiles d'altération en surface.

Le piézomètre ne semble pas être impacté par des pompages. L'introduction d'une côte de débordement visible sur la chronique améliore le calage. La réponse impulsionnelle est constituée uniquement de la composante lente pour un coefficient de Nash égal à 0.77.

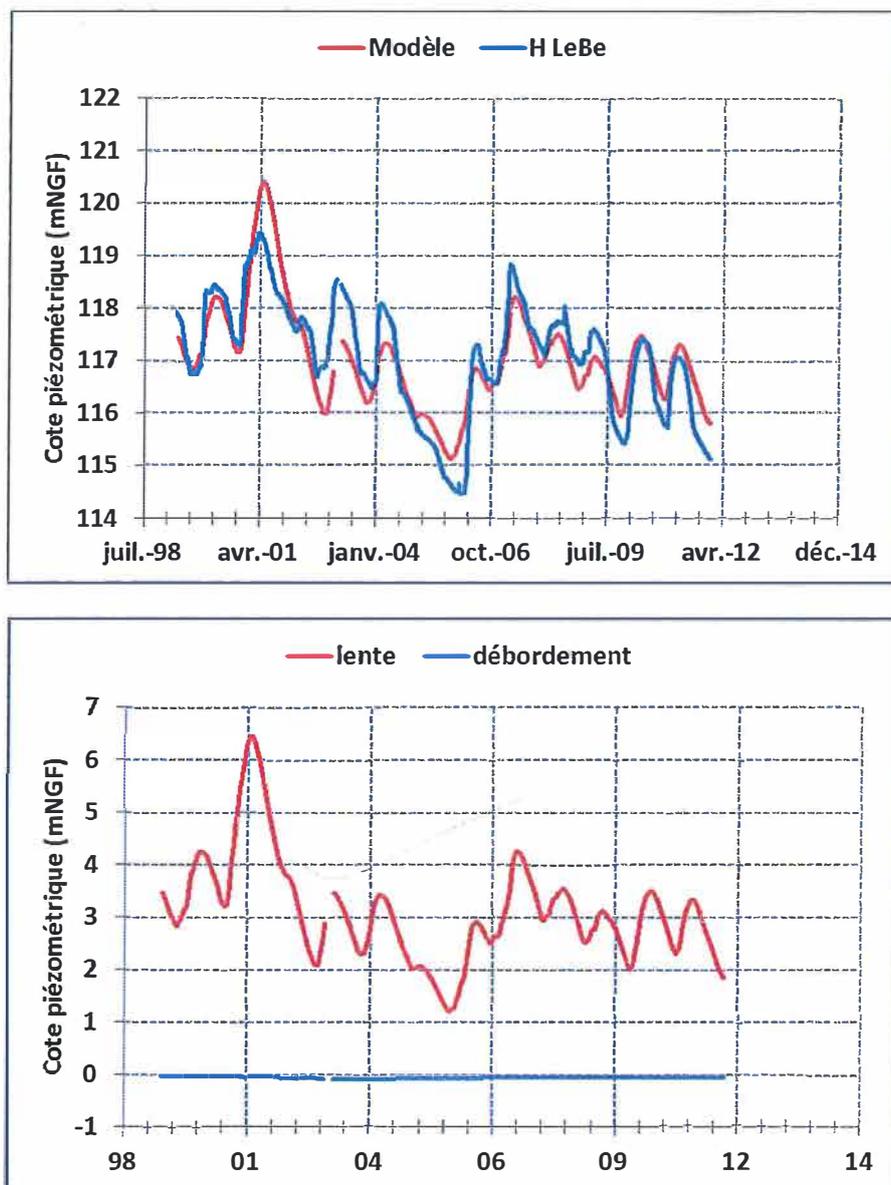


Illustration 16 : Modélisation du piézomètre du Bé (en haut : comparaison des niveaux piézométriques simulés et observés ; en bas : décomposition du signal suivant ses composantes)

Débit de la station de Petit Allier à Vivonne

Après différents tests sur les piézomètres présents sur ce bassin, le calage final du débit du Clain à la station de Petit Allier (Illustration 17) utilise comme fonction d'entrée le piézomètre de Saint-Romain et aboutit à un coefficient de Nash de 0.85.

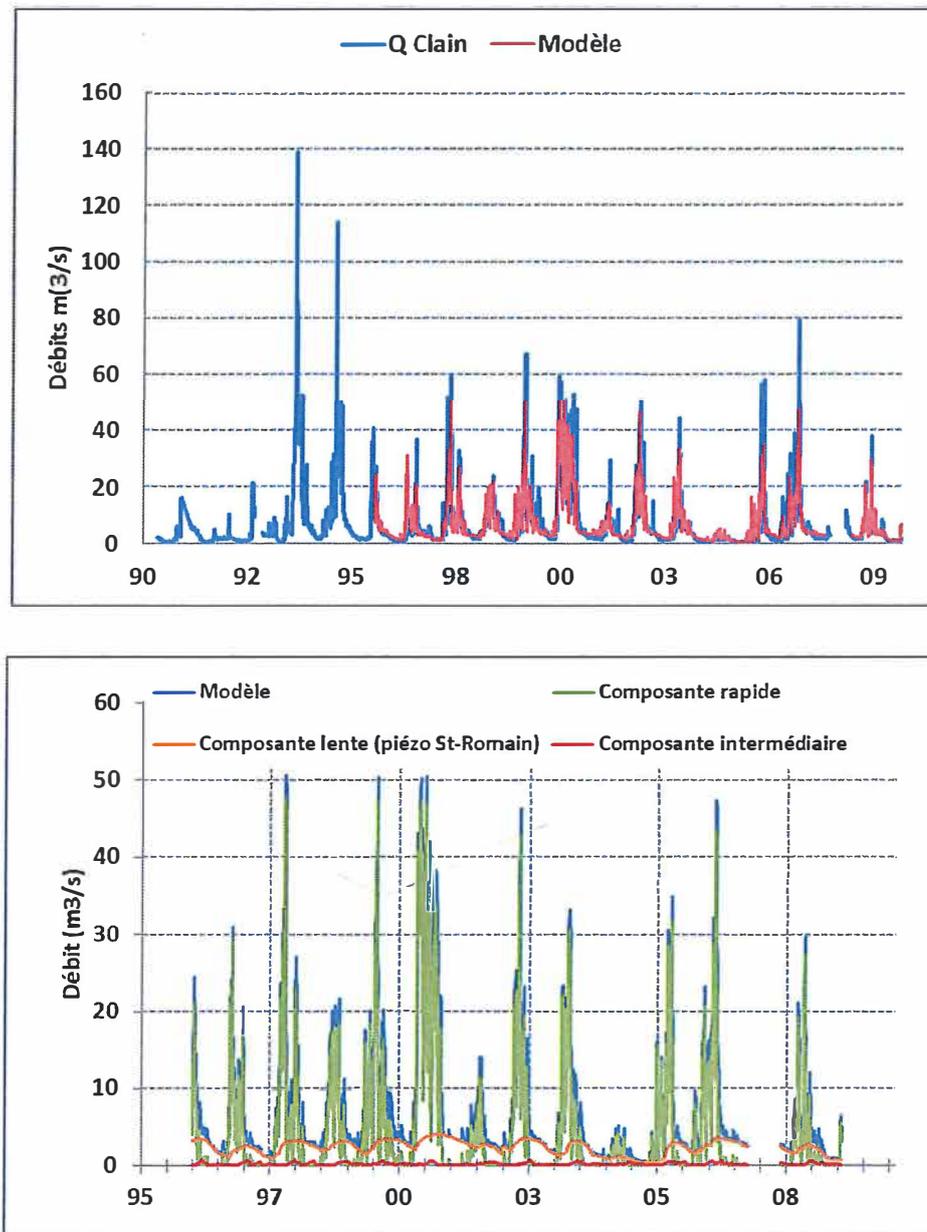


Illustration 17 : Modélisation du débit du Clain amont à la station Petit Allier (en haut : comparaison des niveaux piézométriques simulés et observés ; en bas : décomposition du signal suivant ses composantes)

L'illustration 17 montre la décomposition par le modèle du débit simulé entre ses composantes lente (correspondant à la contribution du piézomètre Saint-Romain et équivalent à la contribution des eaux souterraines au débit : Q_{sout}), rapide (correspond au ruissellement) et intermédiaire.

Une analyse de ce résultat pour des débits simulés supérieurs à $20 \text{ m}^3/\text{s}$ ou $40 \text{ m}^3/\text{s}$ indique que la contribution des eaux souterraines est inférieure à 10 % pour des forts débits (tableau 6

Tableau 6). A noter, toutefois, que cette contribution des eaux souterraines correspond à des circulations lentes au sein du réservoir (en l'occurrence du Dogger), mais qu'il peut y avoir des contributions souterraines plus rapides dans des conduits karstiques réactivés par des pluies abondantes.

	Petit-Allier	Qsim > 20 m ³ /s	Qsim > 40 m ³ /s
%Q sout	min	4.7%	5.4%
	max	19.5%	10.3%
	moyenne	10.6%	7.5%

Tableau 6 : Pourcentage de contribution des eaux souterraines pour des débits supérieur à 20 m³/s ou 40 m³/s à la station Petit-Allier

3.1.5. Modélisation Gardenia

La modélisation avec Gardenia n'a pas été possible à cause du manque de données, notamment au niveau du sous bassin versant de la Bouleure.

3.2. BASSIN DE LA CLOUERE

3.2.1. Contexte géographique et hydrographique

Le bassin versant de la Clouère, situé en rive droite du Clain, a une superficie de 386 km² (Illustration 20).

Ce cours d'eau prend sa source à +224 m NGF d'altitude environ à l'ouest de la commune de Lessac dans le département de la Charente. Il rejoint le Clain à une altitude de +86 m NGF à Château-Larcher dans le département de la Vienne, après avoir parcouru 78 km. Sa pente moyenne est de 0,18 %.

La Clouère s'écoule dans un paysage peu marqué, aux formes arrondies et à la vallée peu encaissée. Elle traverse des formations de socle, puis celles du Lias avant de rejoindre les calcaires du Dogger où elle présente davantage de méandres.

Sa pente est importante au début de son parcours entre les cotes +215 m NGF et +190 m NGF, où il y a une succession de retenues dans les formations du socle. On observe sur un linéaire de 4 km une dénivelée de 25 m, soit une pente de 0,6 %.

En fin de parcours, dans le secteur de la commune de Brion (+115 m NGF d'altitude), le cours d'eau se développe en de nombreux bras jusqu'à sa confluence avec le Clain.

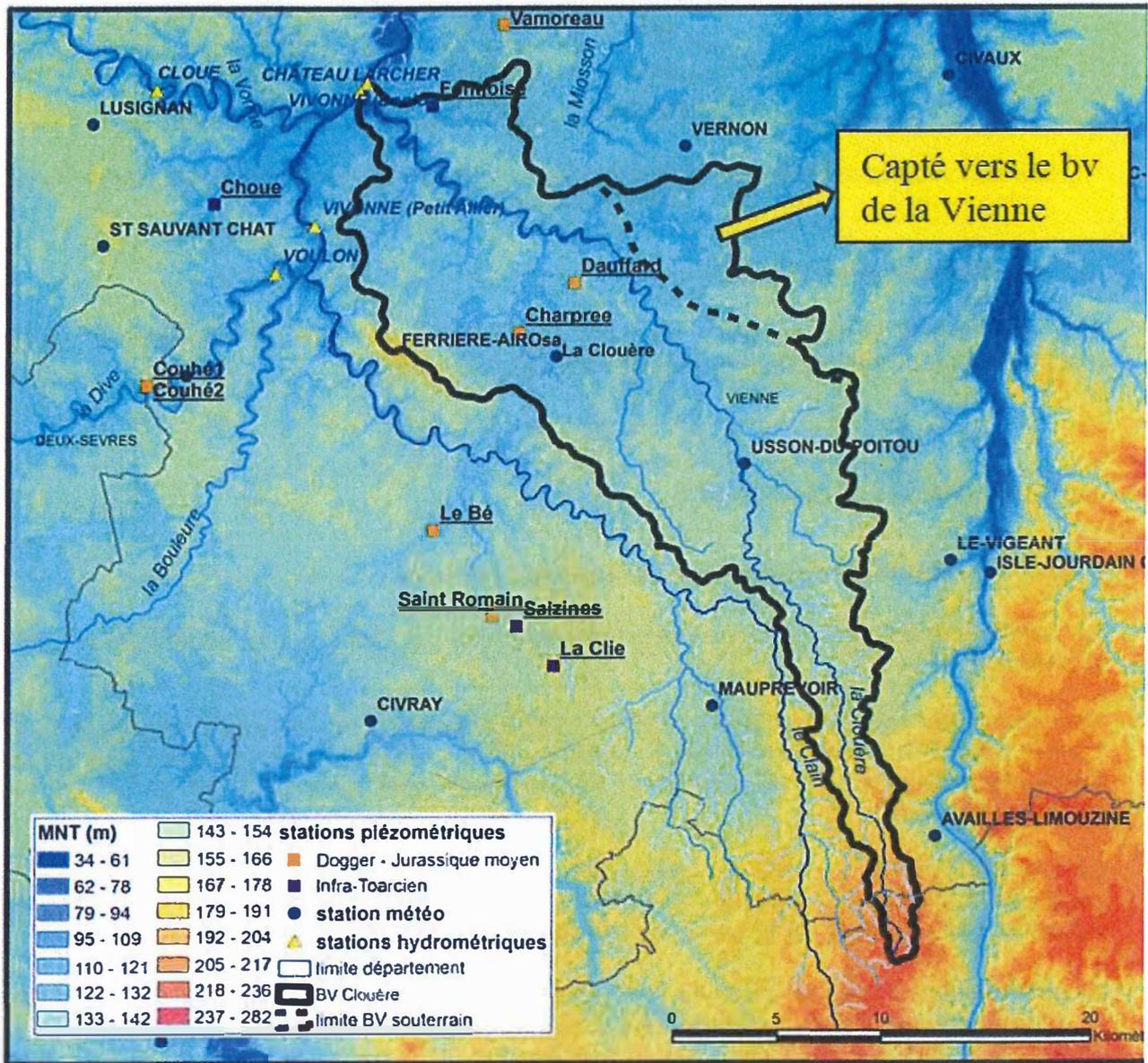


Illustration 18 : Bassin versant de la Clouère

3.2.2. Géologie et hydrogéologie

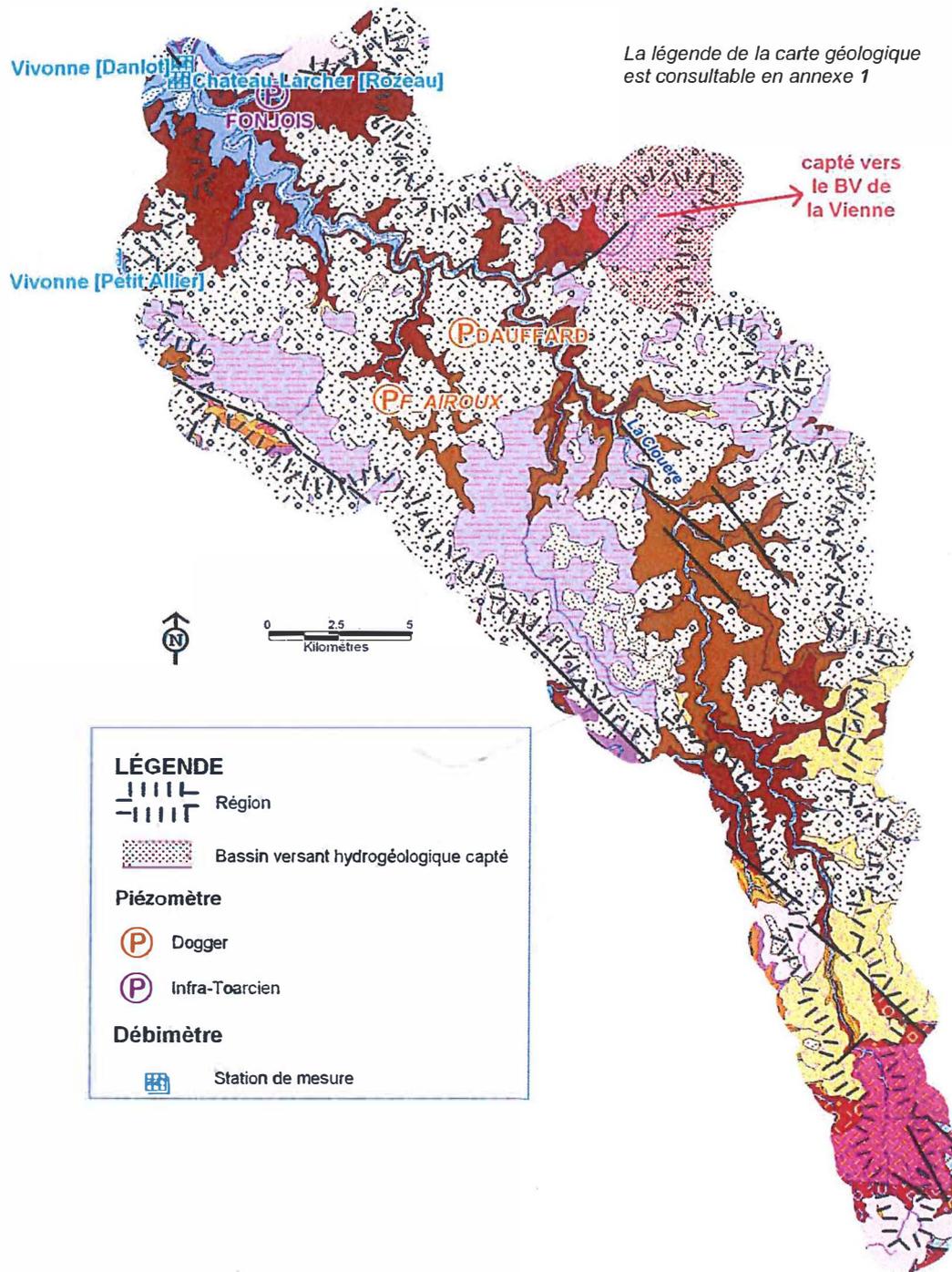


Illustration 19 : Géologie du bassin versant de la Clouère et situation des points de mesures

Contrairement au bassin versant précédent et voisin, le Clain amont, les deux rives de la Clouère ont des largeurs assez équivalentes. Après la zone de socle amont, où le réseau hydrographique est dense, la Clouère pénètre dans les calcaires du Jurassique, en particulier ceux du Dogger (une cinquantaine de mètres d'épaisseur). Au sein de ces plateaux karstiques les cours d'eau sont rares traduisant l'importance des écoulements souterrains. C'est en revanche le domaine des vallées sèches qui peuvent être réactivées en hautes eaux.

A noter, toutefois, l'existence du cours d'eau La Belle alimenté par une importante source, la Fontaine du Puy Rabier, près de la Ferrière-Airoux. La Belle est un affluent en rive gauche de la Clouère.

A noter également en rive droite l'existence du ruisseau de la Menoff, normalement sec sur une partie de son cours et durant une grande partie de l'année, mais artificiellement alimenté par les pompages d'une importante carrière située dans la partie amont de son bassin versant. Les nombreuses études hydrogéologiques réalisées dans ce secteur montrent que ce dernier, topographiquement situé dans le bassin de la Clouère (donc du Clain), serait en grande partie hydrogéologiquement localisé dans celui de la Vienne. Les bassins topographique et hydrogéologique diffèrent là d'une manière importante. C'est aussi le cas au nord du bassin de la Clouère (bassin du Miosson notamment) où le bassin de la Vienne s'étend hydrogéologiquement dans le bassin du Clain. La limite hydrogéologique (Illustration 19) est construite à partir des piézométries de la nappe du Dogger existantes.

D'un point de vue des relations nappe/rivière, les piézométries montrent que dans la partie moyenne du bassin, la Clouère « joue » avec la nappe du Dogger, en recevant ses eaux ou en l'alimentant en fonction de sa cote topographique. A l'aval, après Gençay, la Clouère circule sur les marnes du Toarcien intrinsèquement imperméables mais qui peuvent être fracturées, permettant alors les échanges entre la nappe de l'Infra-Toarcien et la rivière.

Ainsi, deux aquifères importants coexistent dans ce bassin : ceux du Dogger, d'une manière générale assez productif dans le bassin, et de l'Infra-Toarcien captif ; l'un et l'autre étant exploités pour l'irrigation et pour l'AEP. Le premier est suivi à partir des piézomètres de Chez-Petit-Dauffard et de Ferrière-Airoux, le second grâce au piézomètre de Fontjoise.

3.2.3. Synthèse des données

Le Tableau 7 recense les données disponibles sur le bassin de la Clouère.

BASSIN VERSANT	PLUIE	ETP	PIEZOMETRIE	STATION HYDROMETRIQUE
Clouère	Ferrière-Airosa (86097001) Lusignan (86139001)	Poitiers-Biard	Dauffard (Dogger) Charprée (Dogger) Fonjoise (Infra-Toarcien)	La Clouère à Château-Larcher (Le Rozeau) L2313050 (382 km ²) 2001-2012

Tableau 7 : Synthèse des données sur le bassin de la Clouère

Débits

Le débit journalier maximal enregistré à la station de la Clouère à Château-Larcher est de 30.2 m³/s.

Le Tableau 8 présente les fréquences de retour des débits de crue selon les lois de Gumbel.

fréquence	QJ (m ³ /s)
biennale	14.00 [11.00;17.00]
quinquennale	20.00 [17.00;26.00]
décennale	25.00 [21.00;33.00]
vicennale	29.00 [24.00;39.00]
cinquantennale	non calculé
centennale	non calculé

Tableau 8 : Fréquences de retour des débits de crue selon les lois de Gumbel à la station de Château-Larcher

Niveaux piézométriques

Le piézomètre de Fontjoise capte l'aquifère de l'Infra-Toarcien.

Le piézomètre de Dauffard capte l'aquifère du Dogger. Il présente une certaine inertie. La cote minimale atteinte à l'étiage 2005 correspond approximativement à la cote de la source de Puy-Rabier située à environ 4 km de distance, niveau de base aussi du piézomètre de Charprée (F. Airoux) (Dogger).

Les trois piézomètres présentent des comportements assez différents (Illustration 20). Celui de Fontjoise montre des variations de pressions très importantes, caractéristiques d'un aquifère captif. De plus, il est impacté par les pompages alentours. Celui de « Petit Chez Dauffard » montre, comme nous venons de le dire, des cycles pluriannuels. Enfin, celui de la Charprée montre une grande réactivité comme celle des hydrogrammes de rivière.

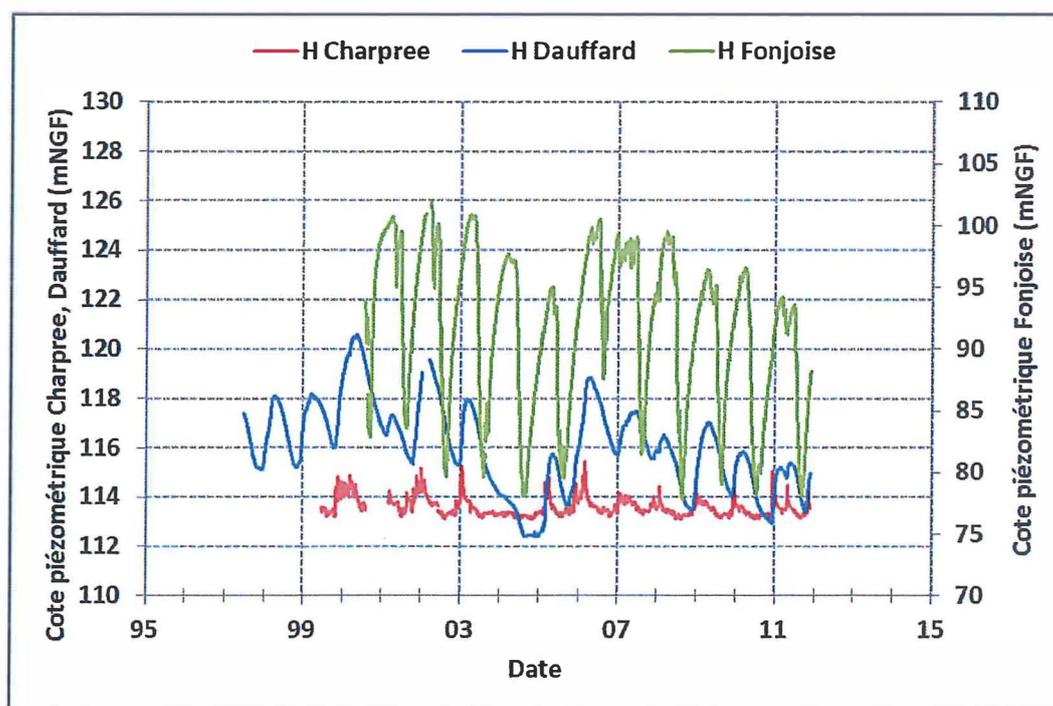


Illustration 20 : Chroniques piézométriques des niveaux sur le bassin versant du Clain amont

Corrélation des données niveau/débit - Illustration 21

		Corrélogramme croisé	
Débit	Piézomètre	décalage en jours	valeur max
La Clouère à Château-Larcher (Le Rozeau)	Charpree	0	0.84
	Dauffard	74	0.51
	Fonjoise	23	0.38

Tableau 9 : Corrélation débit de la Clouère à Château-Larcher – niveau piézométrique à Charprée, Dauffard et Fontjoise

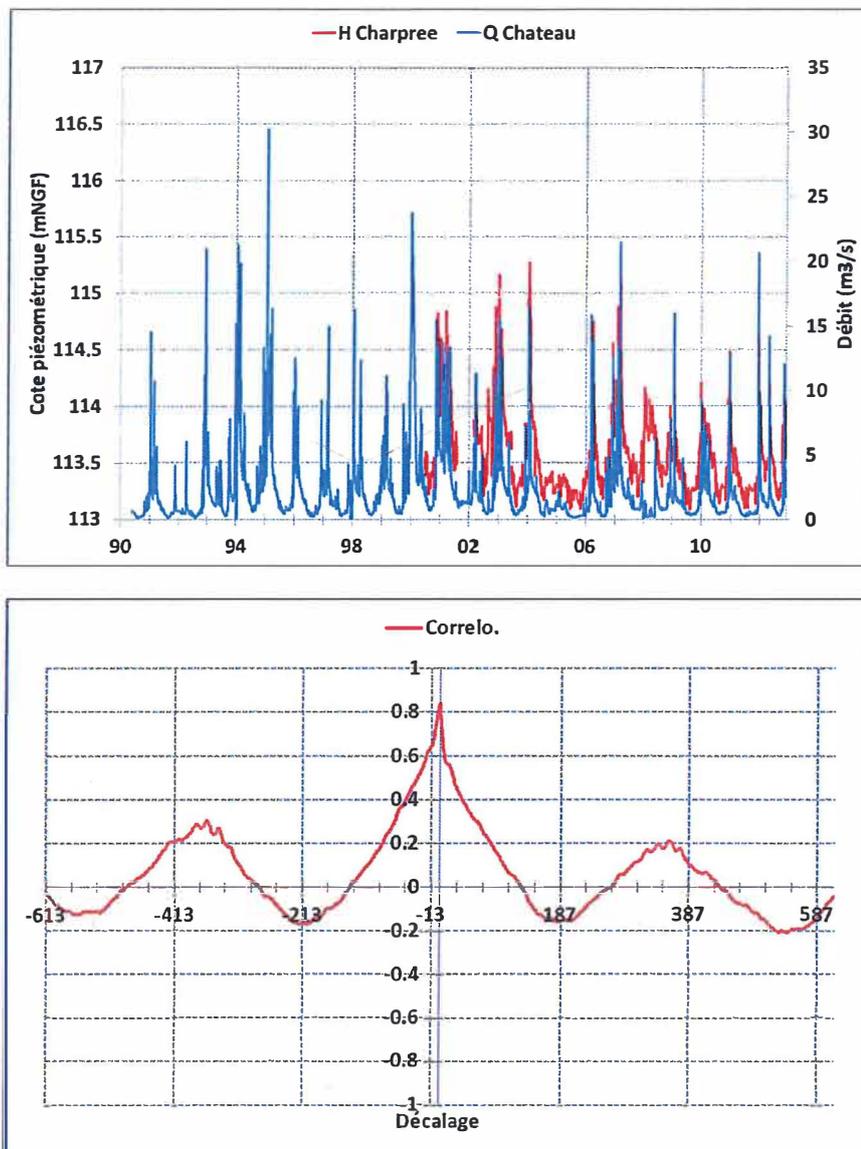


Illustration 21 : Corrélation du débit de la Clouère à Château-Larcher et niveau piézométrique à Charprée

La comparaison des chroniques piézométriques avec la chronique de débit à Château-Larcher (aval du bassin de la Clouère) montre des corrélations fortes, entre pic de crue sur la rivière et pic sur le piézomètre de la Charprée (amont de la Fontaine de Puy-Rabier) (Tableau 9). Ce dernier enregistrerait donc les circulations d'eau dans un réseau karstique bien développé. A noter toutefois un « amortissement » des niveaux en période de décrue et de basses eaux lié à la nappe.

L'inertie observée pour la nappe du Dogger sur « Petit Chez Dauffard » est confirmée avec un décalage supérieur à deux mois entre réactivité de la rivière et de la nappe. Enfin, la corrélation entre le piézomètre de Fontjoise et la rivière ne doit pas être interprétée par des transferts relativement rapides d'eau mais par des transferts de pression du fait de la captivité de la nappe de l'Infra-toarcien. Par exemple la mise en charge de réseau de fractures peut en effet se répercuter sur de grandes distances dans ce type de milieu captif. Il en est de même des impulsions « pompages », Fontjoise montrant un impact important de ces derniers en été.

3.2.4. Actualisation des modèles « Tempo »

Piézo-mètre de Fontjoise - Infra-Toarcien - Illustration 22

Le calage de ce piézomètre est moyennement satisfaisant avec un coefficient de Nash de 0.49. Une fonction pompage et une fonction débordement ont été introduites pour améliorer ce calage. La réponse impulsionnelle de la série simulée est composée d'une composante lente uniquement.

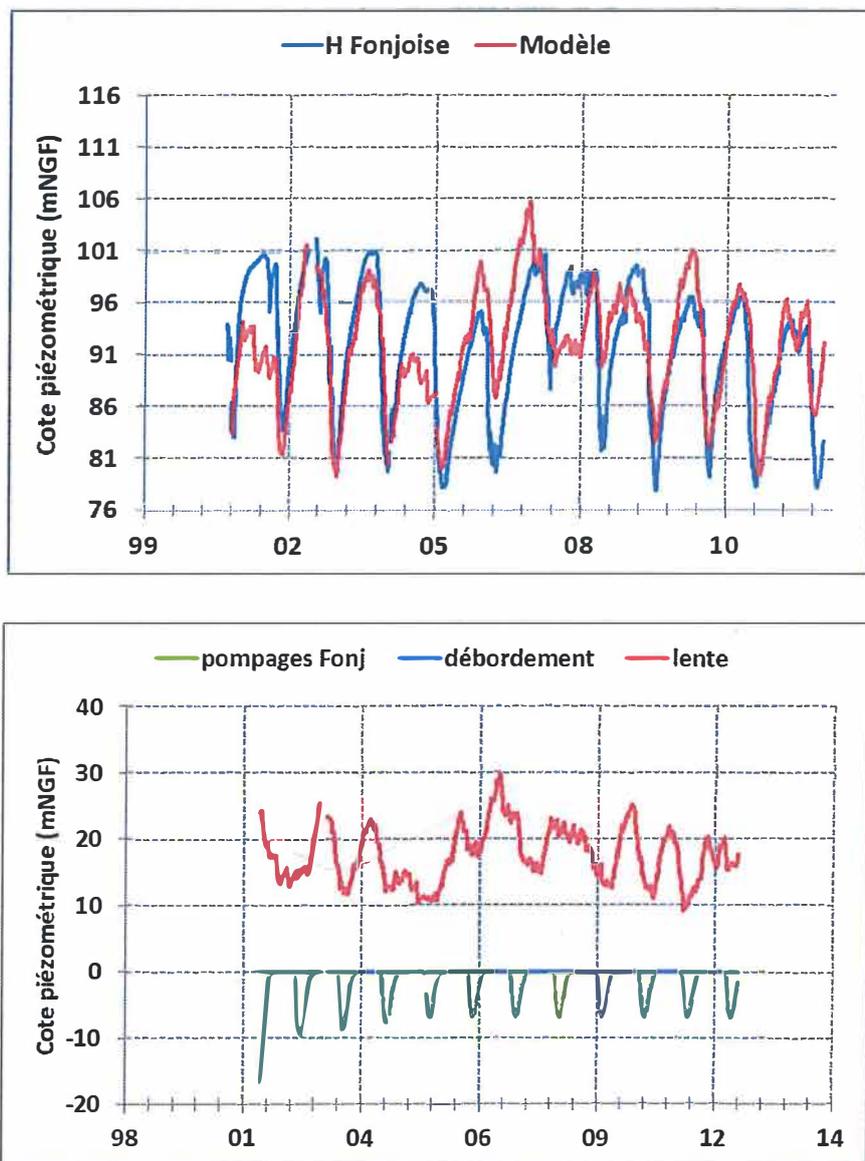


Illustration 22 : Modélisation du piézomètre de Fontjoise (en haut : comparaison des niveaux piézométriques simulés et observés ; en bas : décomposition du signal suivant ses composantes)

Piézomètre de Dauffard – Dogger - Illustration 23

Le piézomètre de Dauffard (Petit Chez Dauffard) présente une inertie très importante avec une réponse impulsionnelle lente d'environ 600 jours. Le calage (Nash = 0.77) est amélioré par l'introduction d'une fonction pompage.

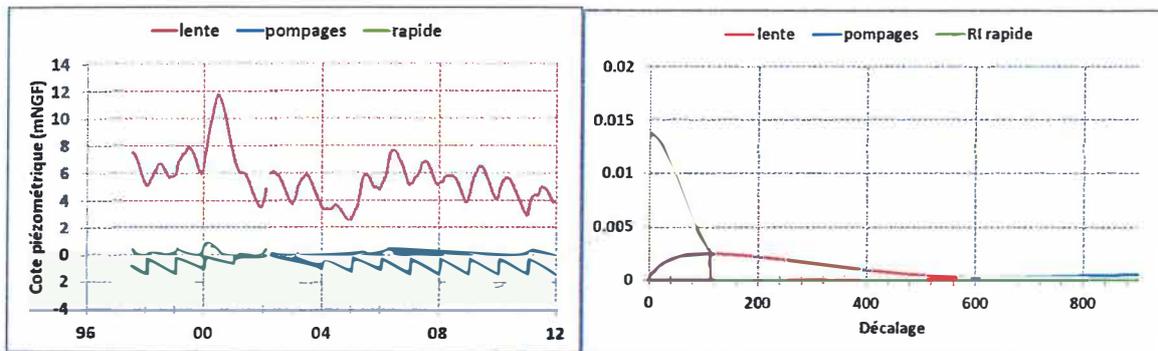
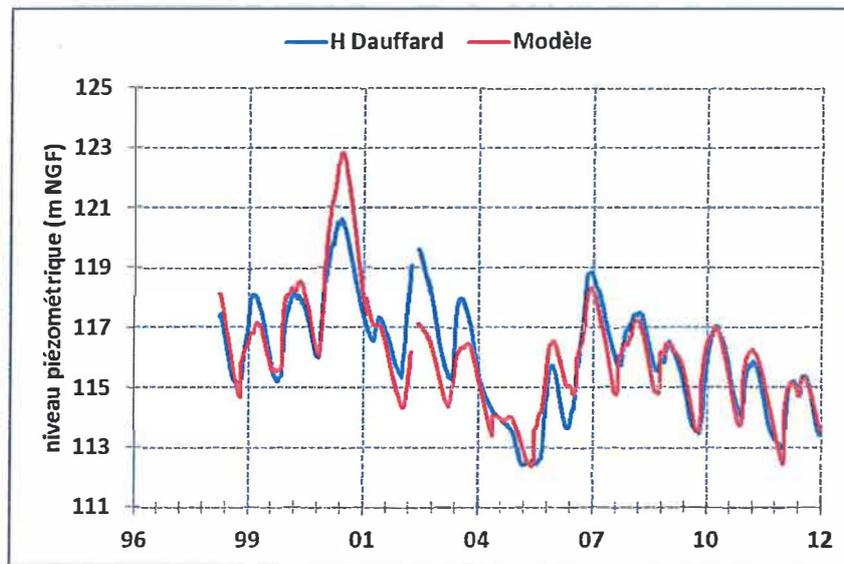


Illustration 23 : Modélisation du piézomètre de Dauffard (en haut : comparaison des niveaux piézométriques simulés et observés ; en bas : décomposition du signal suivant ses composantes)

Piézomètre de Charprée – Dogger - Illustration 24

Les fluctuations rapides de ce piézomètre ne sont pas parfaitement reproduites par le modèle. Afin d'améliorer la simulation des étiages (qui reste insatisfaisante), un seuil bas à +113.1 m NGF a été introduit ; il correspond au niveau de base de la source de Puy-Rabier se situant à l'aval du piézomètre. Les fluctuations rapides observées en basses eaux correspondent aux pompages dans les environs du piézomètre.

Le coefficient de Nash vaut 0.77.

La décomposition du signal (Illustration 24) montre une composante rapide, correspondant aux « ruissellements » dans les conduits karstiques et une composante lente (faible) contribution de la matrice de l'aquifère du Dogger. Ceci corrobore le constat fait au chapitre précédent.

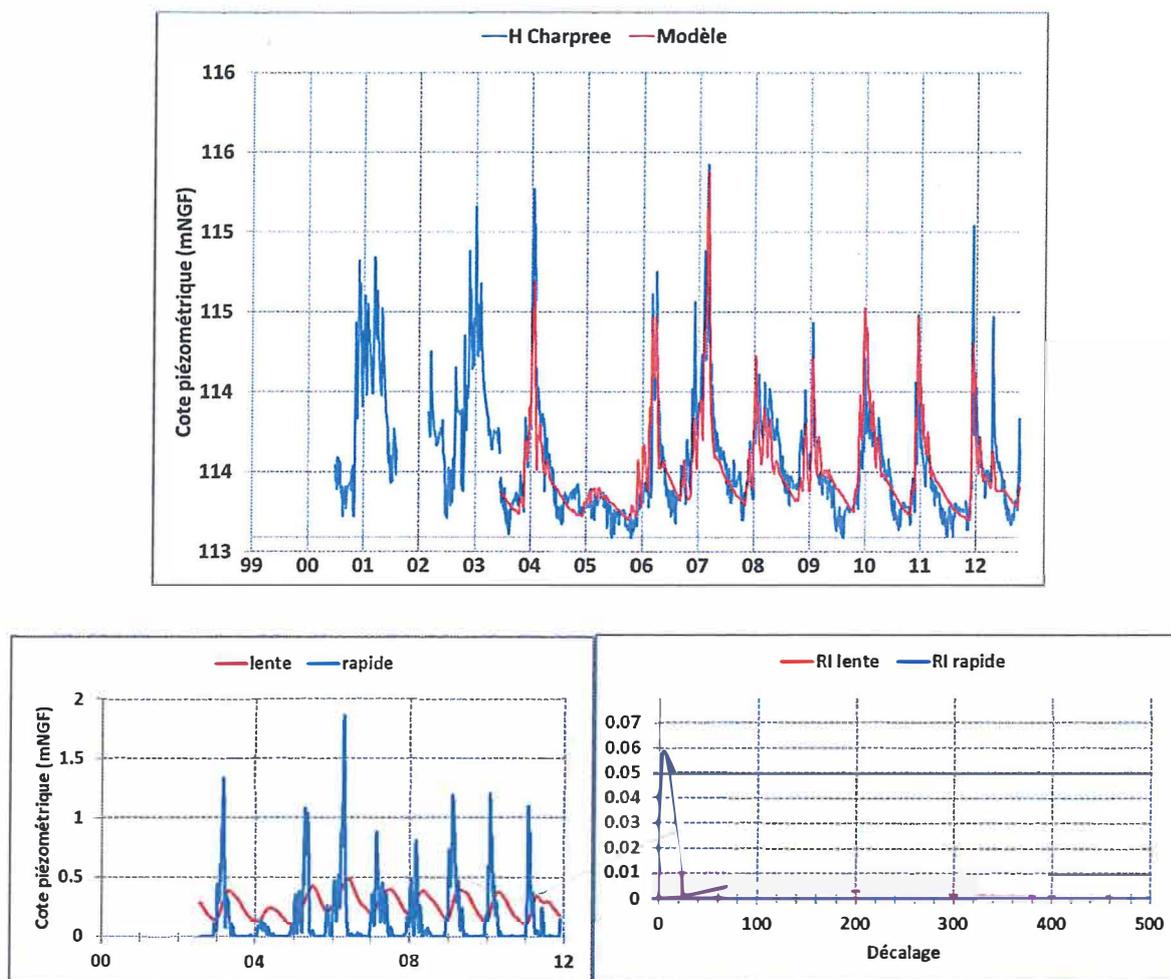


Illustration 24 : Modélisation du piézomètre de Charprée (en haut : comparaison des niveaux piézométriques simulés et observés ; en bas : décomposition du signal suivant ses composantes)

Débit de la Clouère à Château-Larcher - Illustration 25

On constate sur la chronique des débits observés qu'il y a un problème au niveau des données après le 17 novembre 2007.

En introduisant les piézomètres de Dauffard et de Fontjoise, le calage sur la période 2002-2007 donne un coefficient de Nash de 0.76. Cependant, le coefficient de Nash résultant du calage sur la période 2002-2012 est moins bon : 0.51.

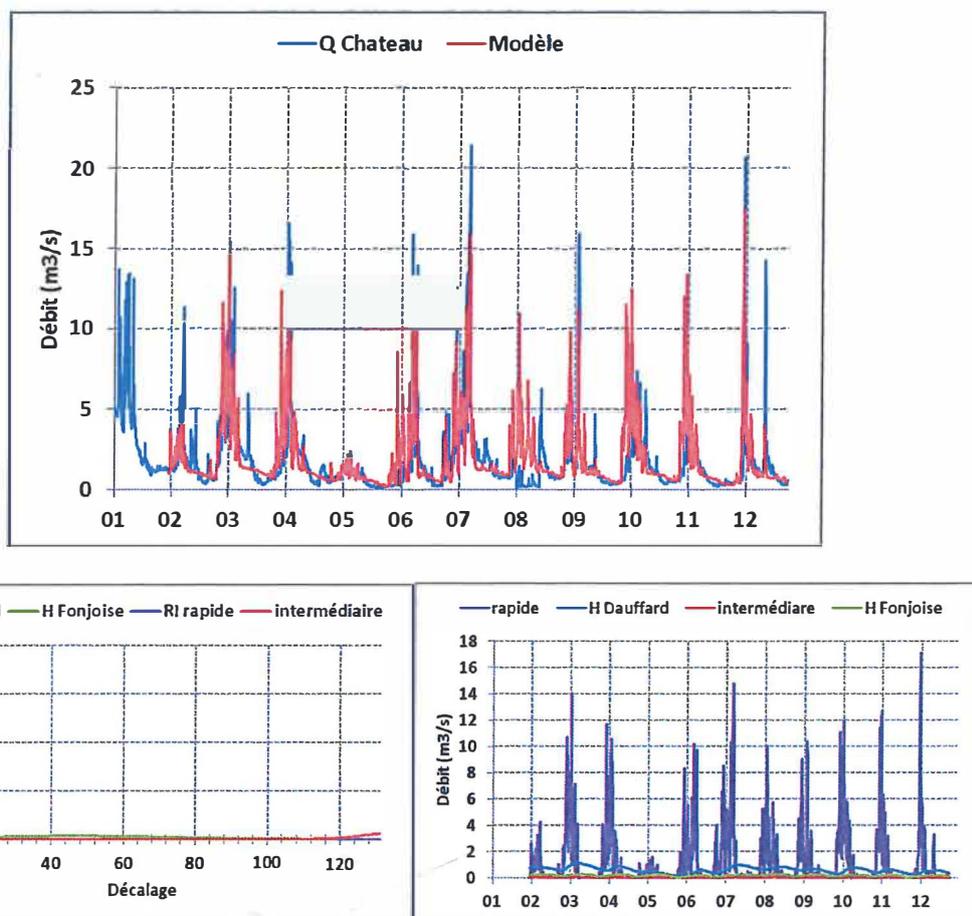


Illustration 25 : Modélisation du débit à la station Château-Larcher (en haut : comparaison des niveaux piézométriques simulés et observés ; en bas : décomposition du signal suivant ses composantes)

La répartition de la contribution des composantes souterraines pour des débits simulés supérieurs à 10 m³/s est définie dans le tableau 10. La contribution de la nappe du Dogger (inférieure à 10 %) est plus importante que celle de l'infra-Toarcien (2 % maximum). A noter qu'il s'agit là, pour la nappe du Dogger en particulier, de la contribution « lente » de la nappe. Des transferts rapides peuvent se faire dans des conduits karstiques.

Château-Larcher	modele	rapide	H Dauffard	H Fonjoise	%Qsout_Dauffard	%Qsout_Fonjoise	%Qsout_total
max	17.4	17.1	1.0	0.2	9.5%	2.3%	11.5%
min	10.0	9.1	0.2	0.1	1.5%	0.7%	2.1%
moyenne	11.8	11.0	0.6	0.2	5.2%	1.4%	6.6%

Tableau 10 : Pourcentage de contribution des eaux souterraines pour des débits supérieurs à 10 m³/s à la station de Château-Larcher

3.2.5. Modélisation avec le logiciel Gardenia

Le Tableau 7 recense les différents postes pluviométriques disponibles pour les modélisations GARDENIA. Les moyennes de ces postes sur la période 1990-2011 ont été comparées à la valeur moyenne Aurhely sur le bassin versant afin de déterminer les bornes de variation des coefficients correctifs sur la pluie.

Suite aux tests réalisés avec les différents pluviomètres, c'est la station pluviométrique de Ferrière qui apparaît la plus représentative et qui a donc été retenue pour la modélisation.

La possibilité d'ajuster la superficie du bassin versant afin de modéliser les échanges de flux souterrains a été laissée au modèle.

Le calage est meilleur en utilisant deux réservoirs souterrains, qui pourraient correspondre aux nappes du Dogger et de l'Infra-Toarcien avec des temps de transfert différents.

L'illustration 26 présente les résultats du calage qui est assez satisfaisant. La décomposition du débit en écoulement rapide (ruissellement) ou souterrain est présentée sur l'illustration 27.

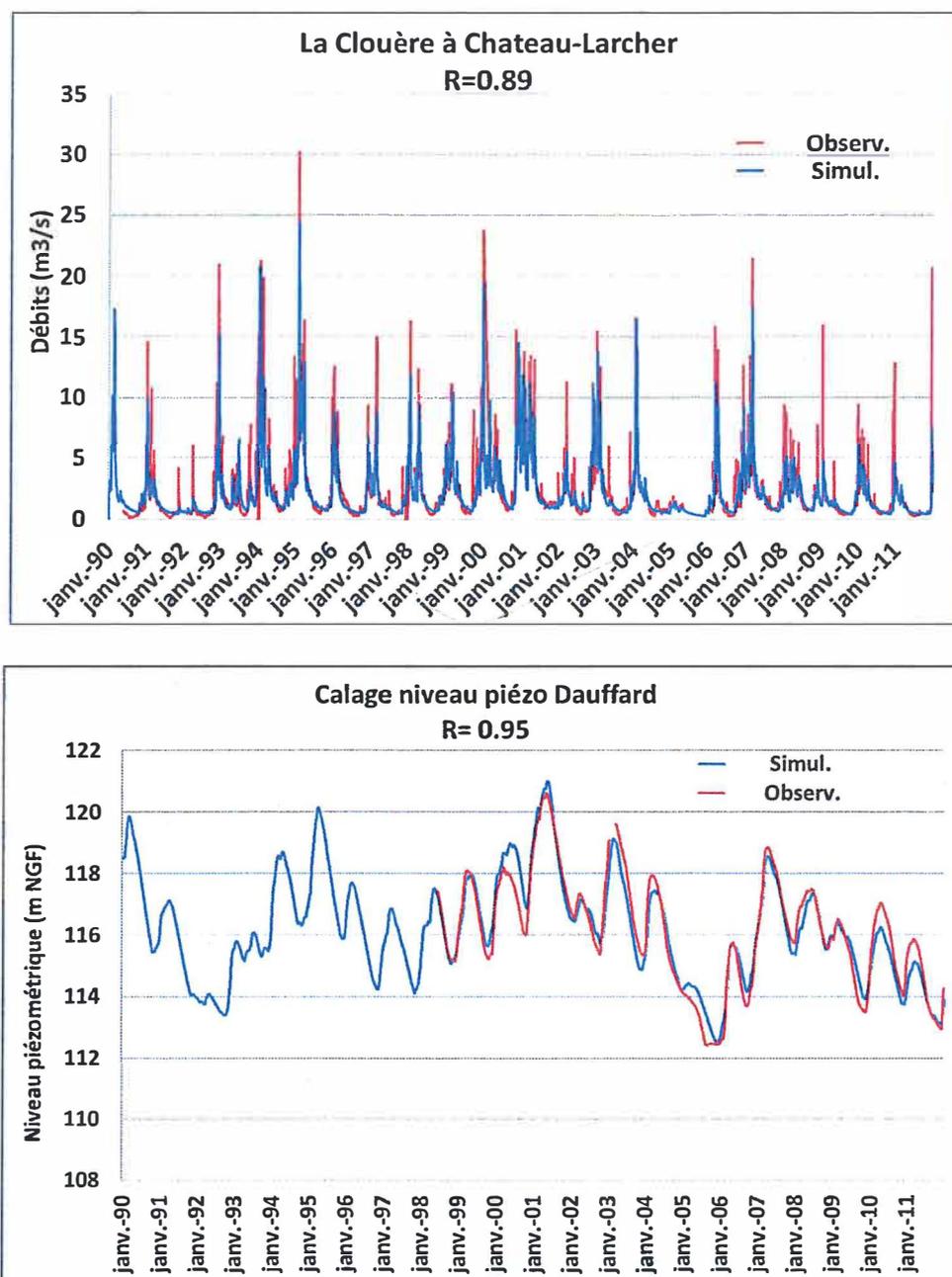


Illustration 26 : Modélisation Gardenia du bassin versant de la Clouère (débit à Château Larcher (en premier) et niveau piézométrique à Dauffard (en second))

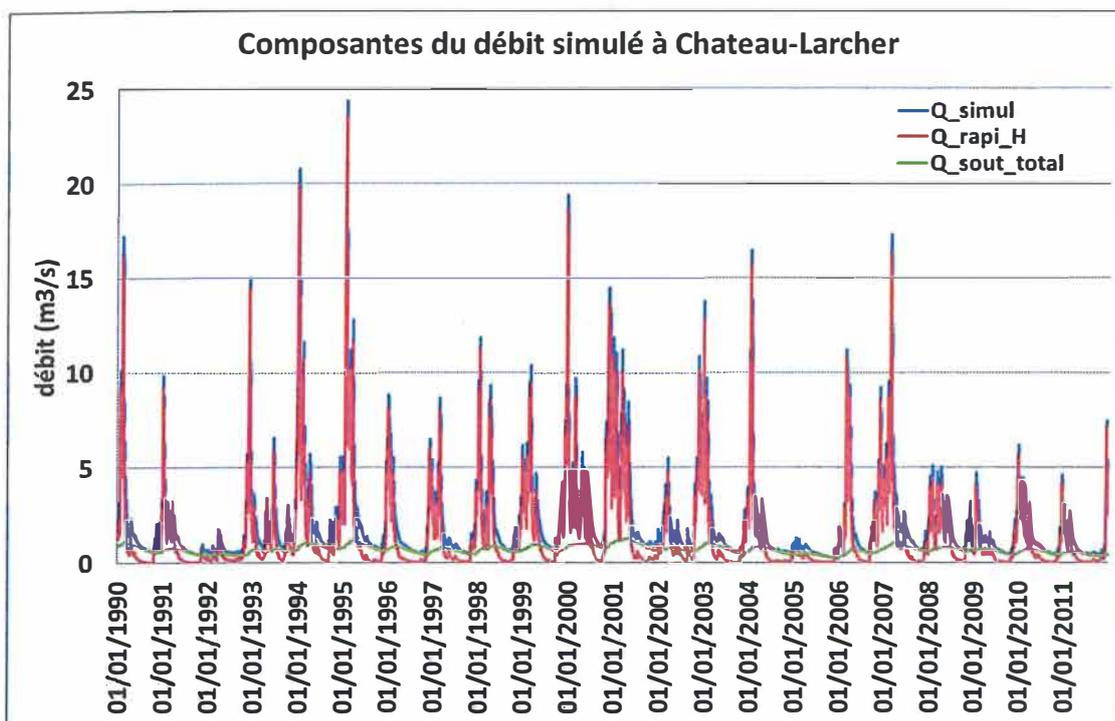


Illustration 27 : Décomposition du débit simulé à Château-Larcher

Pour les périodes de crue, la contribution des apports souterrains au débit de la Clouère est relativement faible ; elle est inférieure à 10 % pour des débits supérieurs à 10 m³/s (Tableau 11).

	<i>Q simulé</i>	<i>Q rapide</i>	<i>Q_sout_G1</i>	<i>Q_sout_G2</i>	<i>Q_sout</i>	<i>% Q_sout</i>	<i>% Q_soutG1</i>	<i>% Q_soutG2</i>
<i>max</i>	24.35	23.49	1.01	0.19	1.17	11.7%	9.9%	1.9%
<i>min</i>	10.00	8.86	0.35	0.10	0.44	3.5%	2.9%	0.6%
<i>moy</i>	13.02	12.15	0.72	0.15	0.86	6.9%	5.7%	1.2%

Tableau 11 : Pourcentage de contribution des eaux souterraines pour des débits supérieurs à 10 m³/s à la station Château-Larcher

En conclusion pour le bassin versant de La Clouère, les résultats obtenus avec les deux modèles (TEMPO et GARDENIA) sont très proches, à savoir une contribution totale des eaux souterraines inférieure à 7 % en moyenne pour des débits supérieurs à 10 m³/s : entre 5 et 6 % pour la nappe du Dogger et un peu plus de 1 % pour la nappe de l'infra-Toarcien.

3.3. BASSIN DU CLAIN MOYEN

Du fait de la position à enjeu du bassin du Clain moyen, il convient de l'étudier plus précisément. L'étude de 2008-2009 n'a pas permis de modéliser correctement les relations niveaux de nappe/débit de rivière avec les piézomètres disponibles.

Dans cette nouvelle phase, l'équipement de deux d'ouvrages avec des enregistreurs de niveau en continu a été réalisé.

3.3.1. Contexte géographique et hydrographique

Le bassin versant du Clain moyen (Illustration 28) correspond au tracé du cours d'eau depuis sa confluence avec la Vonne dans la commune de Vivonne jusqu'à sa confluence avec la Boivre à Poitiers. Il a une superficie de 150 km². A Vivonne, dans le département de la Vienne, ce cours d'eau est à +87 m NGF d'altitude. Il atteint +69 m NGF lorsqu'il est rejoint par la Boivre, après avoir parcouru 31 km. Sa pente moyenne est de 0,06 %.

Le Clain moyen, dans le secteur de la commune d'Iteuil, s'écoule dans une vallée relativement large, de 500 à 800 m, qui correspond à son passage sur les marnes et calcaires de l'Aalénien ou sur les marnes du Toarcien. A l'amont de Poitiers, sa vallée se rétrécit et son cours est plus sinueux. Il est bordé de pentes abruptes (voire de falaises) avec un dénivelé entre les fonds de vallée et l'amorce des plateaux de l'ordre de 20 à 25 m (entre *les Pierres Brunes* et *Moulin*). C'est dans la traversée des communes de St-Benoit puis de Poitiers que le dénivelé est le plus fort, de l'ordre de 50 m.

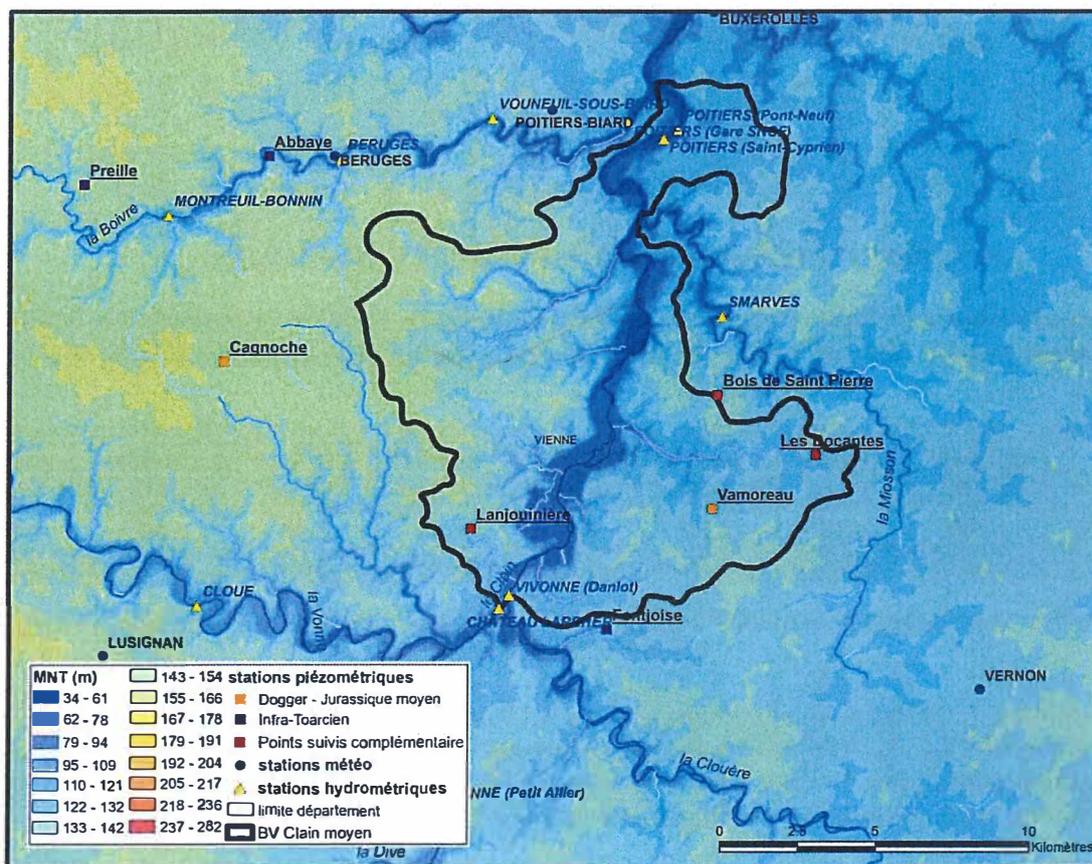


Illustration 28 : Bassin versant du Clain moyen

3.3.2. Géologie et hydrogéologie

La morphologie de la partie moyenne du bassin versant du Clain s'explique en grande partie par la géologie.

Jusqu'à Iteuil le Clain s'écoule sur les marnes et calcaires marneux du Toarcien et de l'Aalénien, terrains majoritairement imperméables. La vallée est là relativement large encadrée par les plateaux formés par les calcaires du Jurassique moyen (Dogger, Bajocien principalement). De ces calcaires sortent des sources (cf. celles des Roches-Prémaries-Andillé en rive droite) qui viennent donner naissance à des cours d'eau.

A l'amont du bourg de Ligugé, des failles font remonter le socle granitique (cf. lieu-dit « Granites ») qui affleurent largement en fond de vallée [*« horst de Ligugé »*]. A l'aval de Ligugé, la vallée se resserre, la rivière est encastrée dans les calcaires du Dogger (Bajocien + Bathonien) qui forment des falaises. Poitiers se trouve construit sur ces calcaires, ce qui explique les reliefs abrupts observés dans la ville. Mais, dans le fond de la vallée, les marnes et calcaires marneux de l'Aalénien sub-affleurent ou ne sont pas loin (verticalement) du cours du Clain.

La nappe du Dogger n'est suivie que sur le piézomètre de la Vallée-Moreau plus ou moins représentatif. De toute évidence, la Communauté Urbaine manque de suivi de la nappe du Dogger (quantitativement comme qualitativement), manque d'autant plus criant compte-tenu des forts enjeux de l'aménagement urbain.

Le modelé des plateaux calcaires est en effet à Poitiers typiquement karstique, avec de profondes dolines et des sorties d'eau de nappe en fond de vallée. Il n'est pas rare d'utiliser ces dépressions de relief pour se « débarrasser » des eaux pluviales, voire des eaux d'assainissement. L'impact de la concentration des eaux pluviales du fait de l'imperméabilisation des sols urbains reste non-étudié. De plus, des réseaux karstiques sont connus sous des zones construites.

En ce qui concerne la nappe de l'Infra-Toarcien, celle-ci a tendance à disparaître au nord du « Horst de Ligugé » qui a joué un rôle dans la sédimentation du Jurassique. Ainsi, sous Poitiers, les quelques forages ayant reconnus cette nappe montrent une productivité très faible, contrairement à la nappe du Dogger. Au sud du horst, la nappe de l'Infra-Toarcien est utilisée par l'irrigation et l'Alimentation en Eau Potable. Le piézomètre de Fontjoise, situé sur l'interfluve entre Clouère et Clain moyen, apparaît représentatif de cette nappe.

D'un point de vue des relations nappe/rivière, les nombreuses failles rendent très vraisemblable des échanges entre le Clain et la nappe de l'Infra-Toarcien, plutôt dans le sens d'une alimentation de la rivière par la nappe (normalement en charge sous les marnes du Toarcien dans ce secteur). Mais les apports les plus importants, de part et d'autre du Clain, proviennent des sorties de la nappe du Dogger. Dans ces calcaires karstiques les transferts dans les conduits peuvent être rapides et peu différés dans le temps par rapport à une pluie.

Dans le karst, entre les bassins de la Vienne et du Clain, la piézométrie est relativement « plate » et les bassins topographique et hydrogéologique diffèrent, dans le prolongement du constat fait pour la Clouère. Ainsi, dans l'état actuel des connaissances, la limite hydrogéologique longerait le cours du Miosson, affluent en rive droite du Clain qui se jette dans ce dernier à St-Benoît. Le bassin hydrogéologique de la Vienne serait nettement plus étendu (vers le Clain) que son bassin topographique.

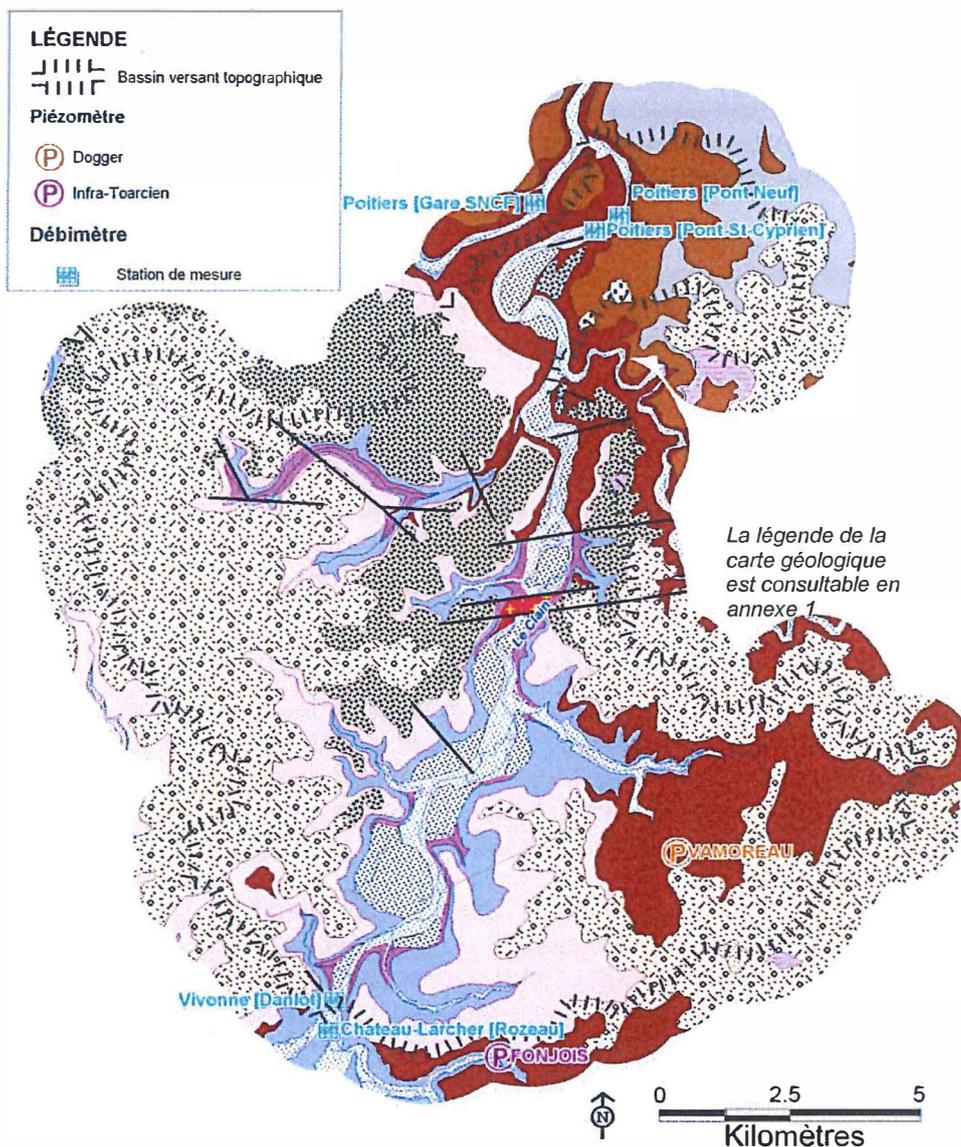


Illustration 29 : Géologie du bassin versant du Clain moyen et situation des points de mesure

Le déficit de piézomètres dans cette partie du bassin du Clain a donc conduit à rechercher et à équiper deux ouvrages à la nappe du Dogger. En période de crue, la contribution la plus importante, mais plus ou moins différée, provient de cette nappe qui vient alimenter plusieurs sources et petits cours d'eau. Mais une inconnue demeure pour l'agglomération de Poitiers en ce qui concerne l'importance des apports de la nappe du Dogger en période de forte pluie, apports complètement anthropisés par l'urbanisation. Une meilleure connaissance de ces apports permettrait de mieux les gérer pour limiter l'amplification des phénomènes de crue dans la communauté urbaine.

3.3.3. Choix des ouvrages à équiper

Les diverses investigations (exploitation de la Banque de données du Sous-Sol (BSS), contact avec des exploitants, Communauté d'Agglomération de Poitiers, Bureaux d'études, investigations de terrain) ont permis de déterminer deux ouvrages comme intéressant à être équipés sur le bassin versant du Clain entre Vivonne et Poitiers (Illustration 30) : le puits de l'Anjouinière [05898X0061] et le puits des Bocantes [05905X0016]. Un forage [05905X0048], situé à Smarves et réalisé pour de la recherche d'eau par Grand Poitiers, a aussi fait l'objet d'un suivi momentané, rapidement abandonné du fait du comportement atypique de la nappe sur l'ouvrage.

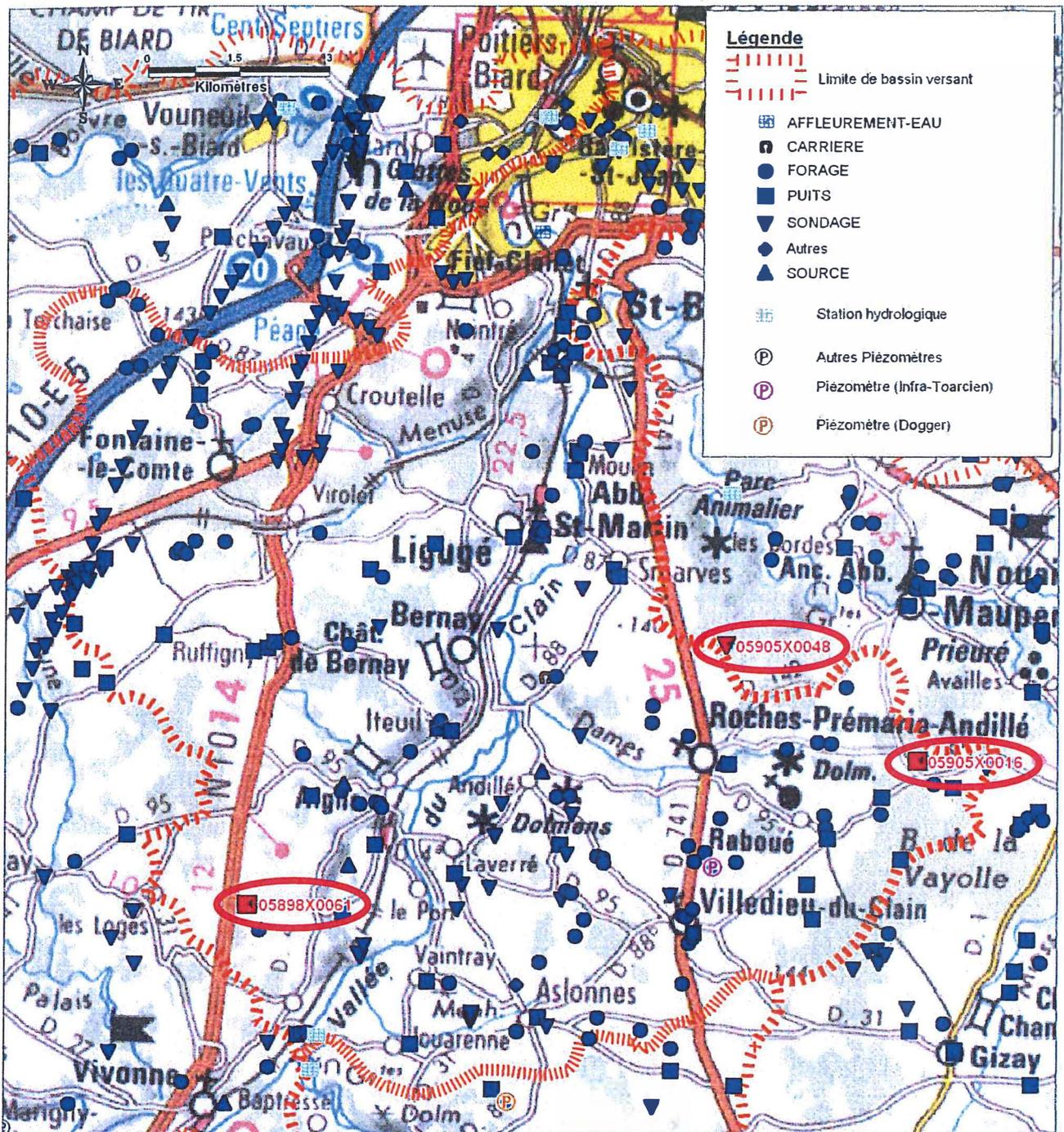


Illustration 30 : Localisation de tous les ouvrages sur le domaine considéré et des ouvrages sélectionnés (en rouge)

Le puits de L'Anjouinière [05898X0061] (Illustration 31)

Il a été choisi d'équiper le point 05898X0061 situé sur la commune de Vivonne entre les lieux dits La Charbonnière et L'Anjouinière. Ce puits, d'une profondeur de 11.28 m, capte l'aquifère du Dogger. Même si en surface ce sont des altérites (Tertiaire ?) qui affleurent, les nombreux blocs dans le champ laissent supposer que les calcaires sont peu profonds. La cote de l'ouvrage (sol) est de l'ordre de 135 m NGF (selon carte IGN 1/25 000).

Le puits est situé sur le versant d'une petite vallée sèche qui se dessine nettement dans le paysage, en rive gauche du Clain à environ 2 km. Il a été équipé d'une sonde et les enregistrements des niveaux sont présentés sur le graphe de l'illustration 32.

Une convention a été établie pour cet ouvrage entre le propriétaire du champ, la DDT et le BRGM.

Les enregistrements des niveaux sur 3 ans (Illustration 32) montrent une grande réactivité aux pluies, avec une recharge rapide à l'automne liée au caractère sub-affleurant de la nappe et à la nature libre de l'aquifère. La vidange de la nappe est régulière au printemps et en été. Ce puits est un bon indicateur de l'état de la nappe avec des cycles annuels qui diffèrent et ne sont pas impactés ni par des écrêtements en hautes eaux, ni par des pompages en été.



Illustration 31 : Photographie du puits de L'Anjouinière

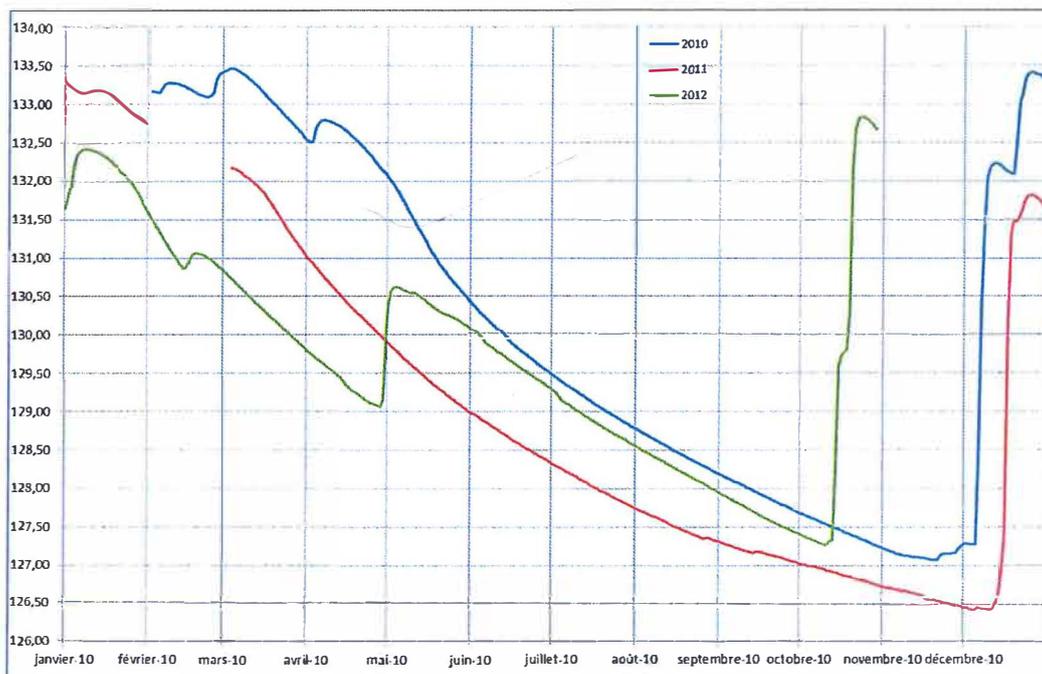
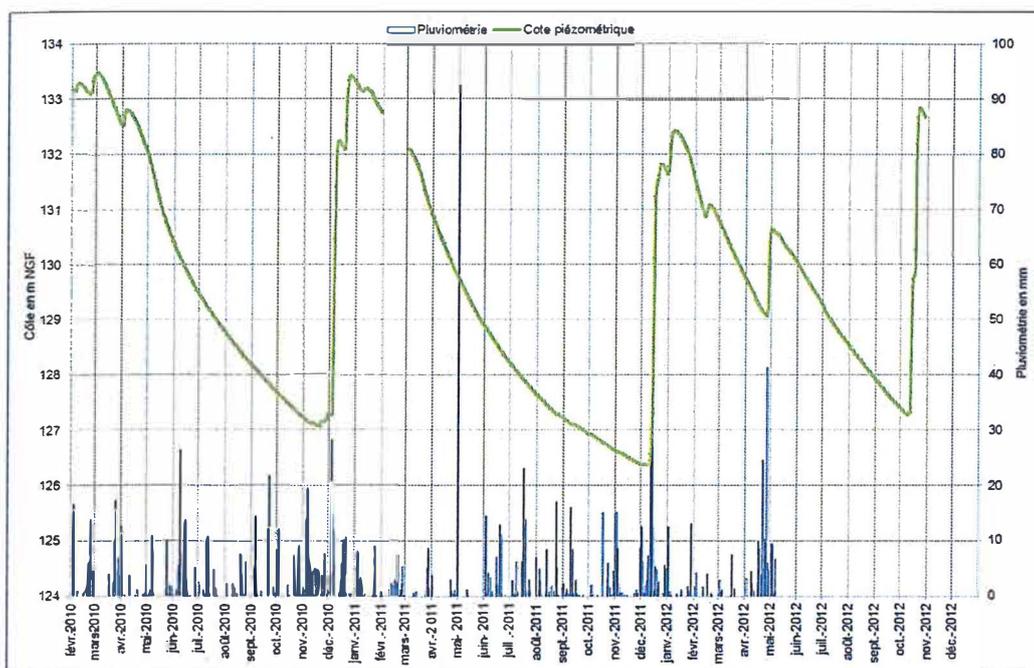


Illustration 32 : Enregistrement des niveaux au puits de l'Anjouinière ; en haut : comparaison des niveaux avec les pluies, en bas : graphes annuels

Le puits des Bocantes [05905X00165] (Illustration 33)

Le second ouvrage équipé est le puits des Bocantes situé chez un particulier (Illustration 33) à l'est des Roches-Prémarie-Andillé. Il est proche de la ligne de séparation des eaux entre le bassin du Clain et celui de la Vienne. Il est situé à l'amont de la vallée sèche qui conduit aux Roches-Prémarie et aux sorties d'eau de la nappe du Dogger qui donnent naissance au Ruisseau des Dames.

Cet ouvrage a été équipé dès 2003 par ERM pour le compte de la Chambre d'Agriculture. Abandonné, il a été récupéré dans le cadre de cette opération. Nous disposons donc d'environ 10 ans de chroniques piézométriques (Illustration 34) de la nappe du Dogger. L'ouvrage fait 22.48 m de profondeur.

Les enregistrements de niveau (Illustration 34) montrent une certaine inertie de la nappe du Dogger, à l'image de ce qui est observé plus au sud sur le piézomètre de « Petit Chez Dauffard ». Les cycles annuels sont très différenciés en fonction de la pluviométrie de l'année. C'est donc un bon indicateur de l'état de la ressource souterraine qui alimente le ruisseau des Dames, petit affluent du Clain en rive droite. En revanche les graphes montrent un impact important de pompages agricoles à proximité. Il est donc moins intéressant pour la gestion estivale.



Illustration 33 : Photographie du puits des Bocantes

Relations nappes-rivière en période de crue dans le bassin du Clain

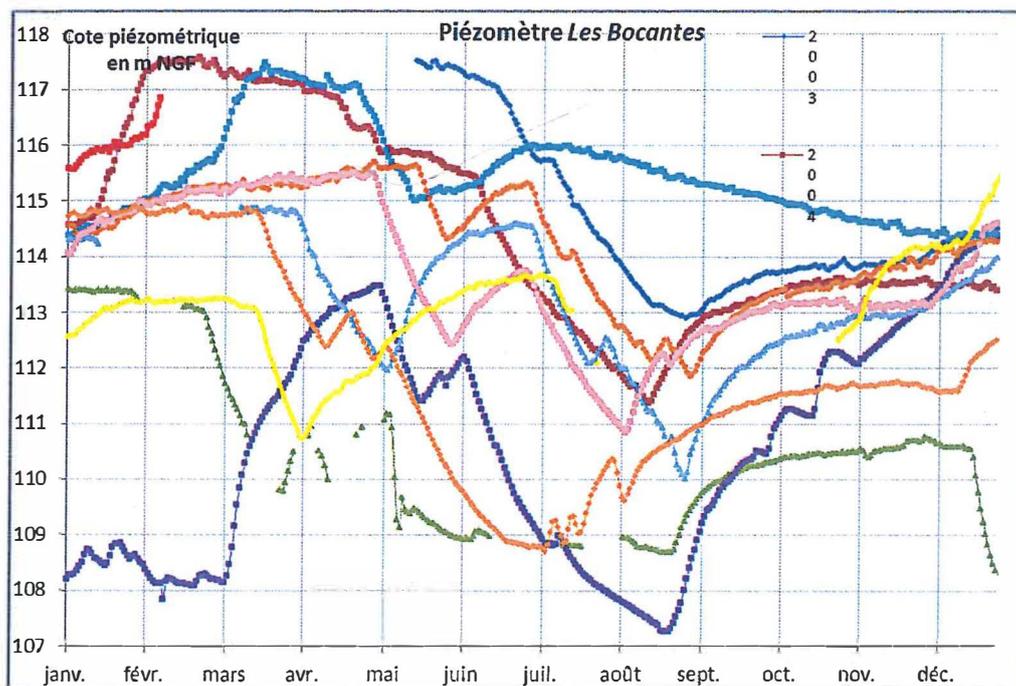
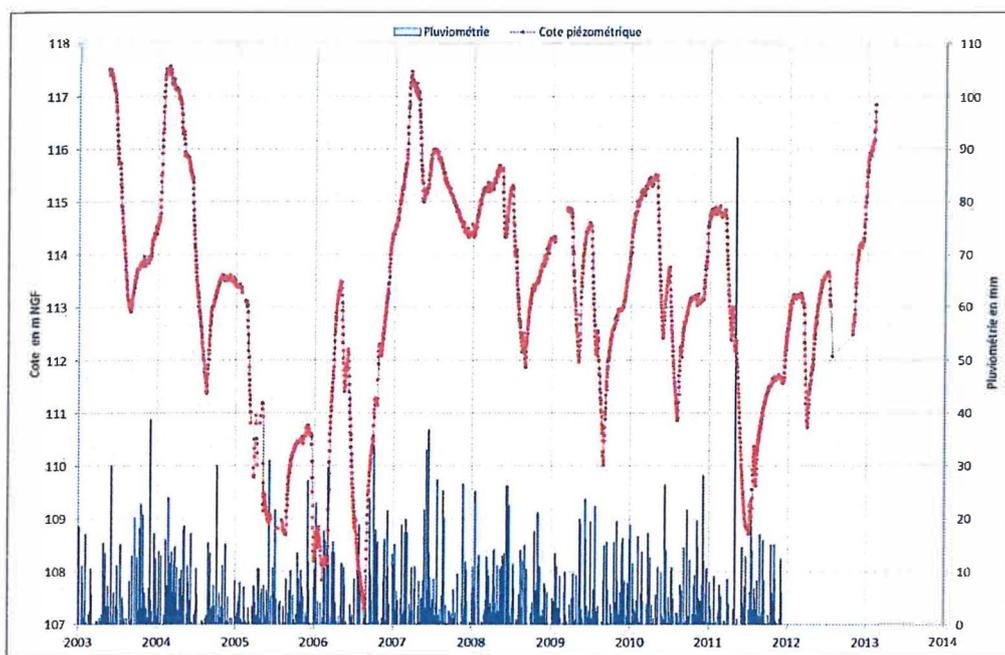


Illustration 34 : Enregistrement des niveaux au puits des Bocantes ; en haut : comparaison des niveaux avec les pluies (pas de données sur 2012), en bas : graphes annuels

	X_L2E	Y_L2E	BSS
Les Bocantes	452 406	2 166 649	05905X0016
Charbonnières	441 340	2 164 310	05898X0061

Tableau 12 : Localisation des deux nouveaux piézomètres

3.3.4. Synthèse des données

Le Tableau 13 recense les données disponibles sur ce bassin.

BASSIN VERSANT	PLUIE	ETP	PIEZOMETRIE	STATION HYDROMETRIQUE	STATION HYDROMETRIQUE AMONTet/ou DES SOUS BV
Clain moyen	Poitiers-Biard	Poitiers-Biard	Vamoreau (Dogger)	Le Clain à Poitiers (Pont Saint-Cyprien) L2341620 (2120 km ²) 1997-2012	Le Clain à Vivonne (Danlot) L2321610 (1822 km ²) 1997-2012
	Lusignan (86139001)		Fonjoise (Infra-Toarcien)		Le Miosson à Smarves (La Bertandinière) L2334010 (129 km ²) 1989-2012
			Les Bocantes (05905X0016)		
			Charbonnières (05898X0061)		

Tableau 13 : Synthèse des données sur le bassin du Clain moyen (Charbonnière=l'Anjouinière)

Débits

Le Tableau 14 présente les fréquences de retour des débits de crue selon les lois de Gumbel.

fréquence	QJ (m ³ /s)
biennale	90.00 [74.00;110.0]
quinquennale	140.0 [120.0;180.0]
décennale	170.0 [140.0;230.0]
vicennale	200.0 [170.0;280.0]
cinquantennale	non calculé
centennale	non calculé

Tableau 14 : Fréquences de retour des débits de crue selon les lois de Gumbel à la station de Pont St-Cyprien

Niveaux piézométriques (Illustration 35)

• Piézomètre de Cagnoche

Le piézomètre de Cagnoche est situé dans le bassin versant du Palais, bien en dehors de la zone du Clain moyen, ici concernée. Toutefois, c'est le seul piézomètre à la nappe du Dogger dans le plateau calcaire entre Boivre, Vonne et Clain ; aussi il a été intégré dans l'analyse. Il capte l'aquifère du Dogger qui est là sous des recouvrements importants d'altérites argilo-sableuses du Tertiaire.

Le piézomètre de Cagnoche a été difficile à modéliser : l'année 2004-2005, atypique, correspond sur la chronique à une vidange continue alors que le modèle présente une réaction aux pluies. L'inertie du système est bien mise en évidence (la longueur de la réponse impulsionnelle lente est de 400 jours).

• Piézomètre de la Vallée Moreau

Le piézomètre de Vamoreau capte également l'aquifère du Dogger.

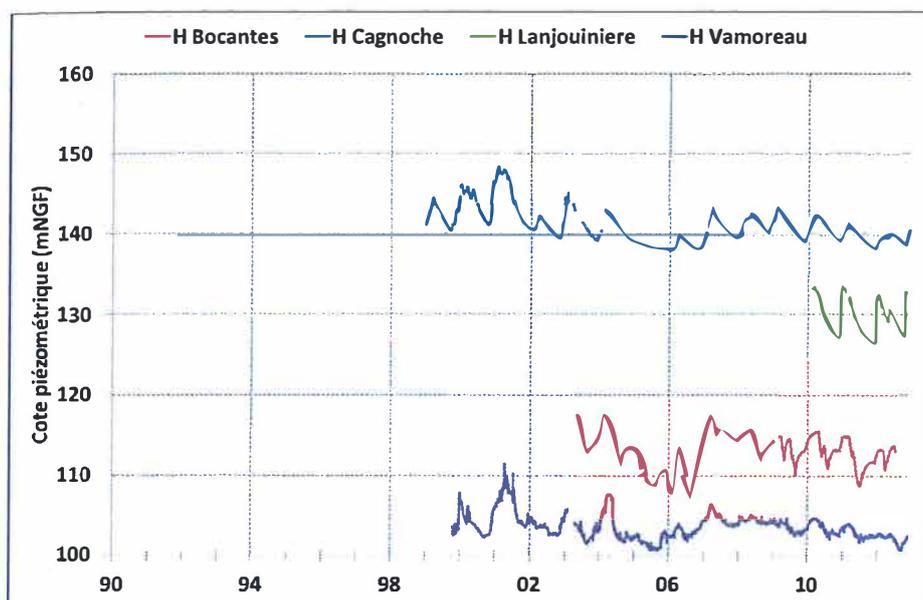


Illustration 35 : Chroniques piézométriques des niveaux sur le bassin versant du Clain amont : chroniques longues des piézomètres du réseau régional Poitou-Charentes et courtes des 2 points équipés pour cette étude

Corrélation des données niveau/débit

Débit	Piézomètre	Corrélogramme croisé	
		décalage en jours	valeur max
Le Clain à Poitiers (Pont Saint-Cyprien)	Cagnoche	28	0.56
	Bocantes	29	0.48
	Vamoreau	25	0.46
	Lanjouinière	4	0.59
	Fonjoise	25	0.42

Tableau 15 : Corrélations entre le débit du Clain à Poitiers et les niveaux piézométriques à Cagnoche, Bocantes, Vamoreau, L'Anjouinière et Fontjoise

L'analyse des corrélations entre le débit du Clain à Poitiers et les piézomètres de ce secteur montre une bonne cohérence des trois piézomètres au Dogger : Cagnoche, Bocantes, Vamoreau (ou Vallée Moreau).

Le décalage temporel est de l'ordre du mois. En revanche, celui de L'Anjouinière est rapidement réactif à une pluie comme nous l'avons vu dans le chapitre précédent. Celui de Fontjoise enregistre une nappe captive dans laquelle les transferts de pression peuvent se faire rapidement.

3.3.5. Modélisation avec Tempo

Piézomètre de Vamoreau – Dogger (Illustration 36)

La chronique présente de petites fluctuations rapides difficilement reproductibles par modélisation. Le calage aboutit à un coefficient de Nash de 0.72 après introduction d'une fonction pompage dans le modèle. Ce piézomètre ne présente qu'une seule composante lente.

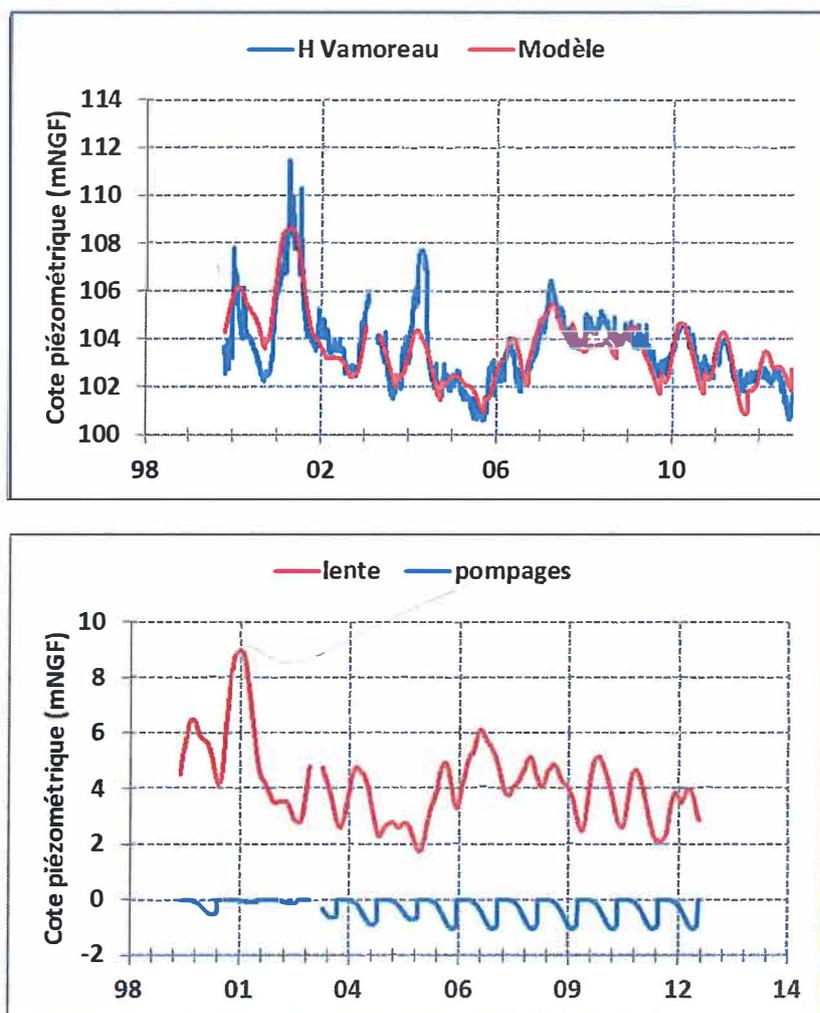


Illustration 36 : Modélisation du piézomètre de Vamoreau (en haut : comparaison des niveaux piézométriques simulés et observés ; en bas : décomposition du signal suivant ses composantes)

Piézomètre de Cagnoche – Dogger (Illustration 37)

La modélisation de ce piézomètre est correcte (Nash= 0.79) en particulier les dernières années. L'inertie du système est bien mise en évidence (la longueur de la réponse impulsionnelle lente est de 600 jours). Cependant, le modèle ne représente pas bien les périodes de hautes eaux de décembre 1999, janvier 2003, février 2004 et janvier 2009. L'année 2004-2005, atypique, correspond sur la chronique à une vidange continue alors que le modèle présente une petite réaction aux pluies.

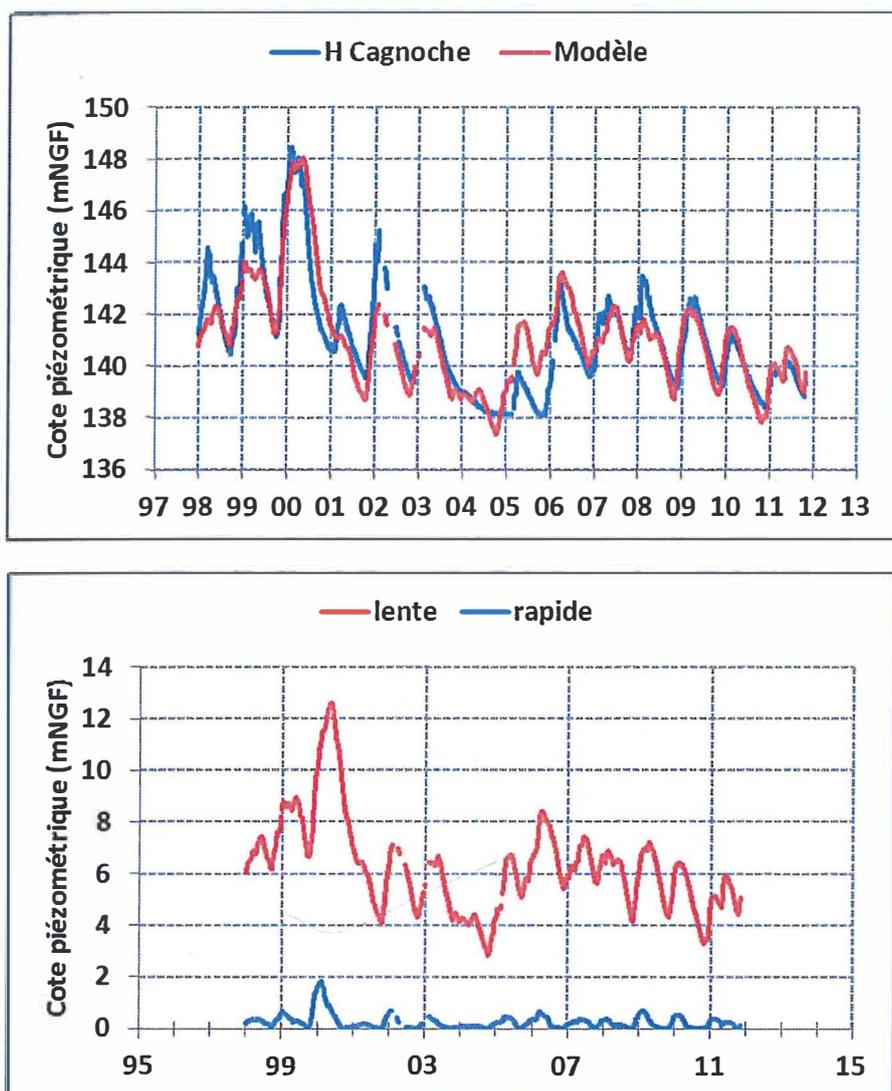


Illustration 37 : Modélisation du piézomètre de Cagnoche (en haut : comparaison des niveaux piézométriques simulés et observés ; en bas : décomposition du signal suivant ses composantes)

Piézomètre de Bocantes – Dogger (Illustration 38)

Le calage de ce piézomètre n'est pas complètement satisfaisant avec des amplitudes de variation du niveau insuffisantes et un coefficient de Nash = 0.60 (Illustration 38).

Les composantes d'entrée du modèle sont une fonction pompages et le niveau piézométrique de Fontjaise.

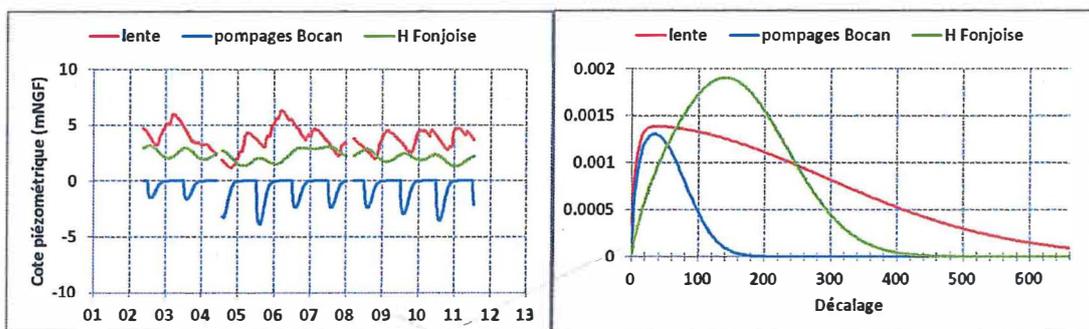
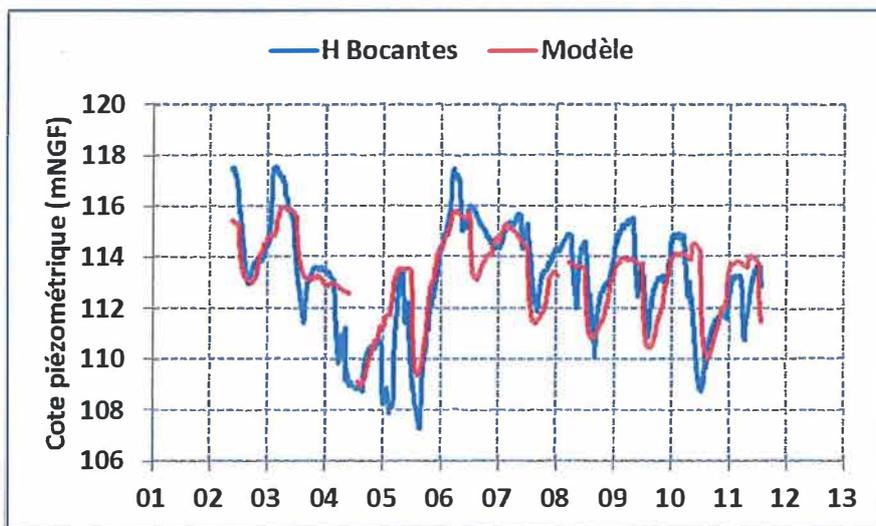
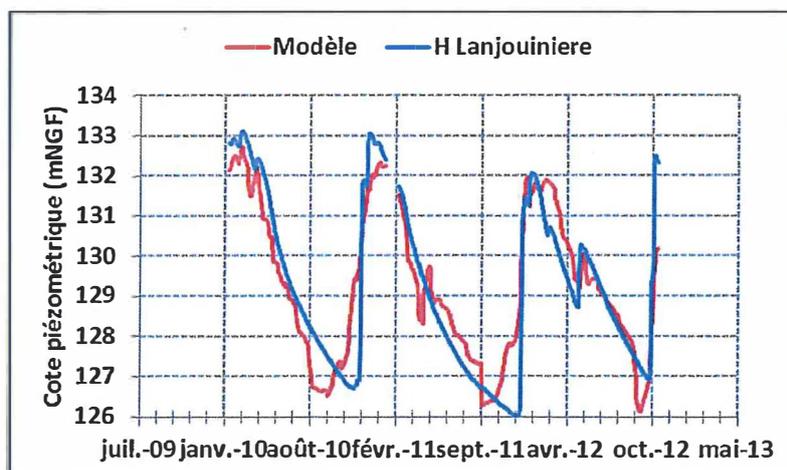


Illustration 38 : Modélisation du piézomètre de Bocantes (en haut : comparaison des niveaux piézométriques simulés et observés ; en bas : décomposition du signal suivant ses composantes)

Piézomètre de L'Anjouinière – Dogger (Illustration 39)

Le calage de ce piézomètre est présenté à titre indicatif mais il ne peut être exploité à cause de la trop courte période des données disponibles.

Le Nash obtenu vaut 0.82 et un seuil bas de +126.4 m NGF a été introduit.



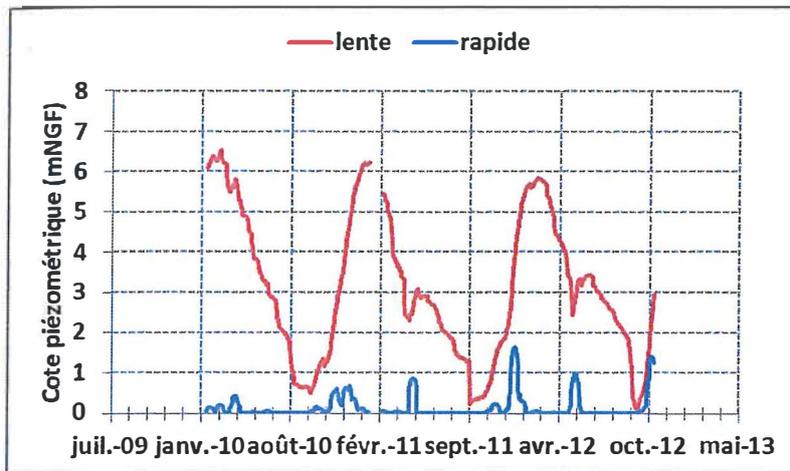


Illustration 39 : Modélisation du piézomètre de L'Anjouinière (en haut : comparaison des niveaux piézométriques simulés et observés ; en bas : décomposition du signal suivant ses composantes)

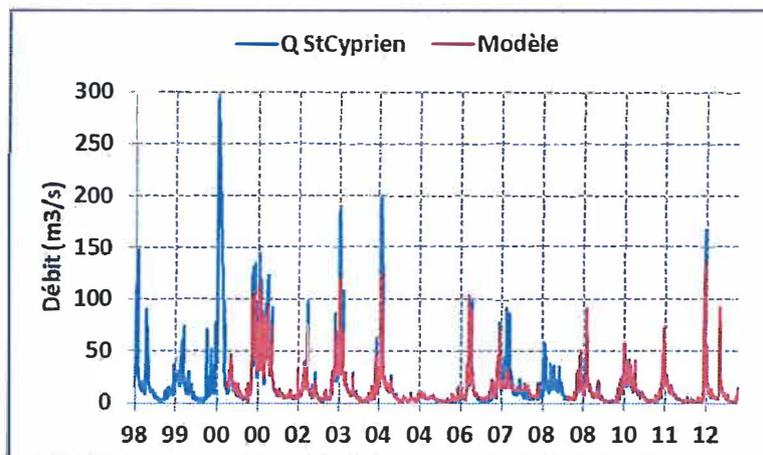
Débit de la Clouère à Château-Larcher

Le débit du Clain à la station de Danlot sur le Clain est une composante d'entrée pour la modélisation du débit à Poitiers Pont St-Cyprien. Celui-ci entre en moyenne pour plus de 80 % dans la composition du débit modélisé.

Globalement la chronique de débit (Illustration 40) paraît bien modélisée. Néanmoins au regard des phénomènes de crue, les grands pics ne sont pas reproduits (notamment celle de décembre 1999).

L'analyse impulsionnelle des composantes montre que :

- il y a peu de décalage entre le signal des débits à Pont St-Cyprien et le signal des débits du Clain à Danlot (au maximum 1 jour) ;
- le décalage est de l'ordre de 2 jours entre les composantes "inexpliquées", lente et rapide, qui correspondent à des ruissellements ou circulations karstiques dans le bassin versant.



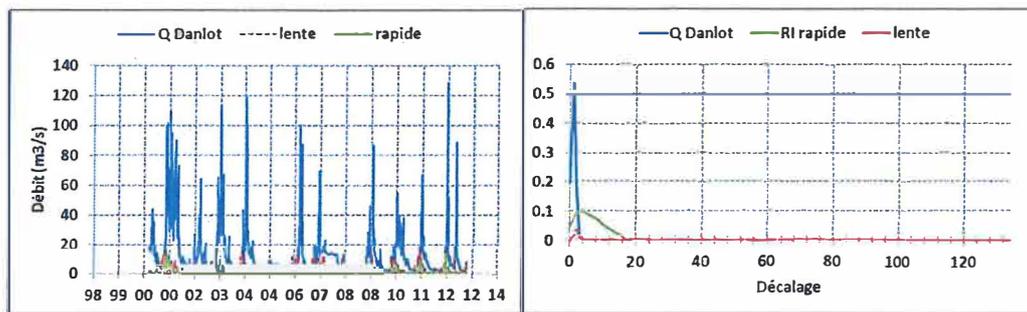


Illustration 40 : Modélisation du débit à la station Saint-Cyprien (en haut : comparaison des niveaux piézométriques simulés et observés ; en bas : décomposition du signal suivant ses composantes)

Plusieurs tentatives de calage ont été entreprises avec la contribution de un ou plusieurs piézomètres (Cagnoches, Bocantes, Fonjoise...). Mais sans résultats bien probants et sans amélioration du calage, on en conclut que le Clain à Poitiers est intégrateur de tous les phénomènes hydrogéologiques et hydrauliques de son bassin, ce qui « brouille » les signaux et ne permet pas d'individualiser les différentes contributions. Ainsi par exemple :

- Le calage du débit à Saint Cyprien avec le débit à Danlot et le piézomètre de Cagnoche donne un Nash de 0.66 et une contribution moyenne du piézomètre de Cagnoche pour des débits simulés supérieurs à 70 m³/s de l'ordre de 0.2 % (Illustration 41).

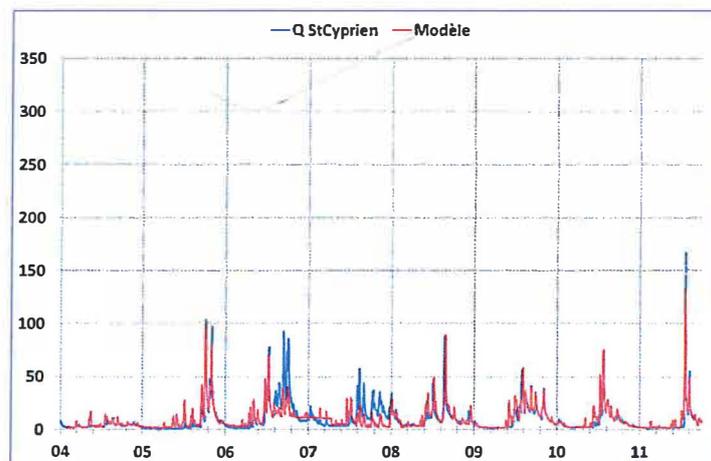


Illustration 41 : Modélisation de la station de pont St-Cyprien avec le débits à Danlot et le piézomètre de Cagnoche en entrée

- Le calage du débit à Saint Cyprien avec le débit à Danlot et le piézomètre de Bocantes donne un Nash de 0.65 et une contribution moyenne du piézomètre de Bocantes pour des débits simulés supérieurs à 70 m³/s de l'ordre de 3 %.

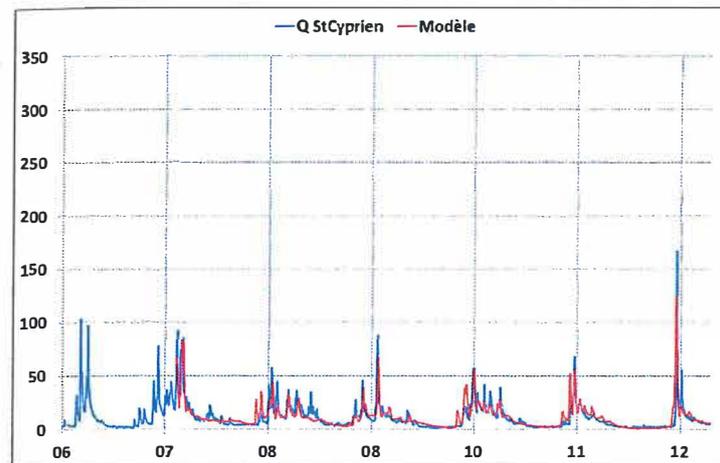
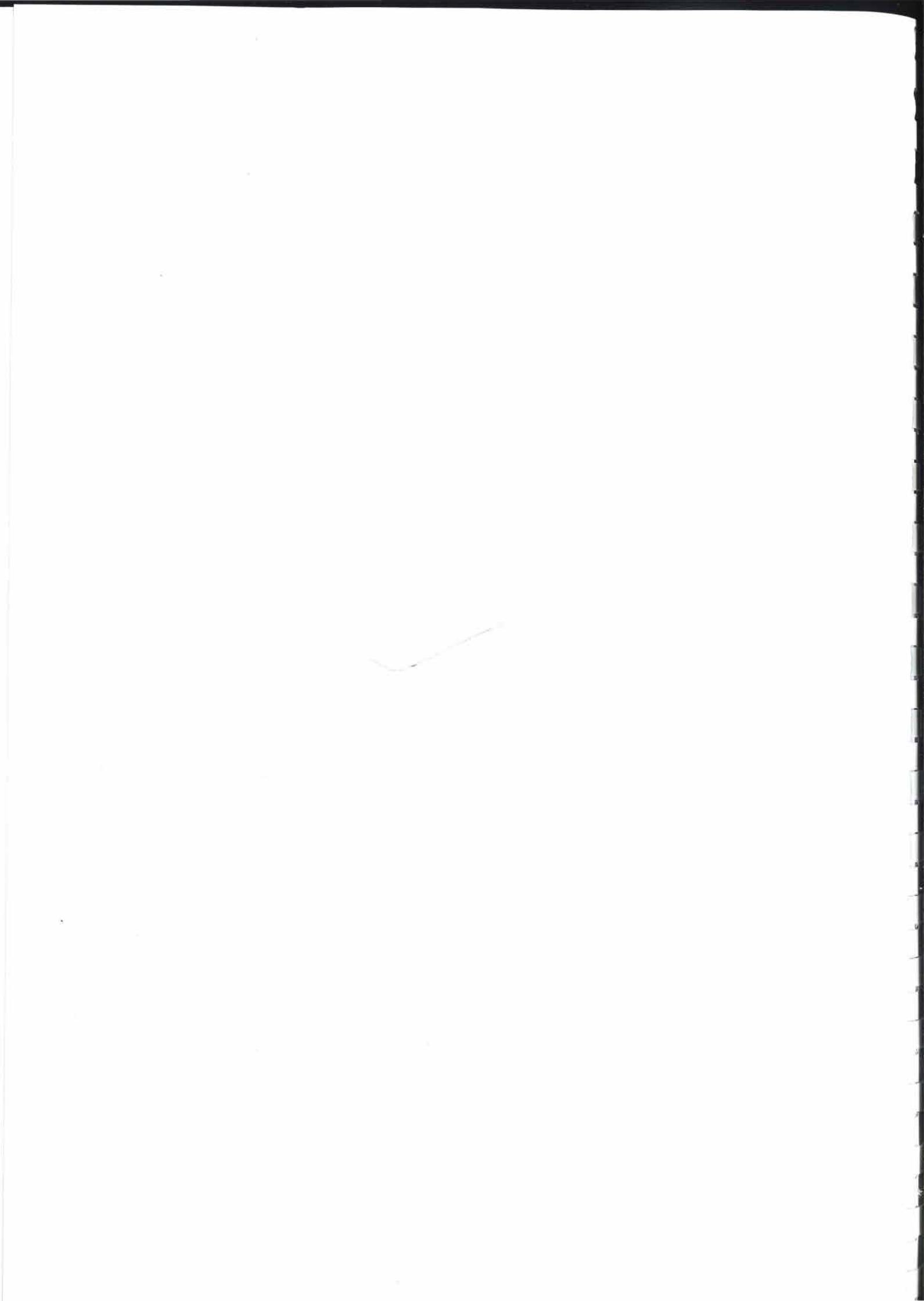


Illustration 42 : Modélisation de la station de Pont St-Cyprien avec les débits à Danlot et le piézomètre des Bocantes en entrée

3.3.6. Modélisation Gardenia

C'est au niveau de la station du Pont St-Cyprien à Poitiers que pourrait être envisagée l'amélioration des connaissances des phénomènes de crue de manière à aider le Service de Prévision des Crues à mieux anticiper les problèmes qui y sont liés. Comme nous venons de le voir, cette station est intégratrice de tous les phénomènes existants sur le bassin à son amont. La signature du signal (chronique de débit) est donc complexe, ce qui rend impossible une simple modélisation avec GARDENIA.

Afin de pouvoir connecter tous les sous-bassins versants depuis la source du Clain jusqu'à la station de Saint-Cyprien à Poitiers, une modélisation avec le logiciel EROS a été entreprise. Le code de calcul ÉROS (Ensemble de Rivières Organisées en Sous bassins) permet la modélisation des débits de bassins versants hétérogènes par une grappe de modèles hydrologiques globaux emboîtés modélisant chacun un sous bassin versant.



4. Modélisation Eros au niveau de la station Saint-Cyprien

4.1. LE LOGICIEL EROS

Une présentation rapide du logiciel est faite ci-dessous. On trouvera une présentation détaillée en annexe 4.

Dans EROS, chaque sous-bassin a ses paramètres propres et éventuellement ses propres séries climatiques (précipitations, ETP). Il est ainsi possible de simuler des bassins hétérogènes (différentes occupations du sol, différents taux de ruissellement et donc de recharge des aquifères) et/ou soumis à des conditions climatiques différenciées (précipitations et évapotranspiration). Il est possible de prendre en compte des exportations (prélèvements) ou importations (injections) de débits modulées dans le temps, en rivière ou en nappe dans chaque sous bassin.

Il est également possible de calculer automatiquement, par régression bornée ("Ridge Regression"), la superficie optimale de chaque sous bassin c'est à dire en particulier le coefficient optimal pour chaque poste pluviométrique.

Dans le schéma de fonctionnement ci-dessous (Illustration 43), les cercles représentent les bassins versants (lorsqu'on introduit une donnée piézométrique, il faut ajouter un bassin versant). Les cercles gris représentent des jonctions (un bassin versant ne peut avoir que deux bassins versants amont). Les ronds noirs illustrent les stations hydrométriques et les carrés noirs les stations piézométriques.

Sont intégrés dans le modèle EROS, les bassins versant de la Dive, de la Bouleure, de la Vonne, de la Clouère, du Miosson, du Clain amont, du Clain aux stations Petit-Allier, Danlot et Pont Saint-Cyprien (l'exutoire).

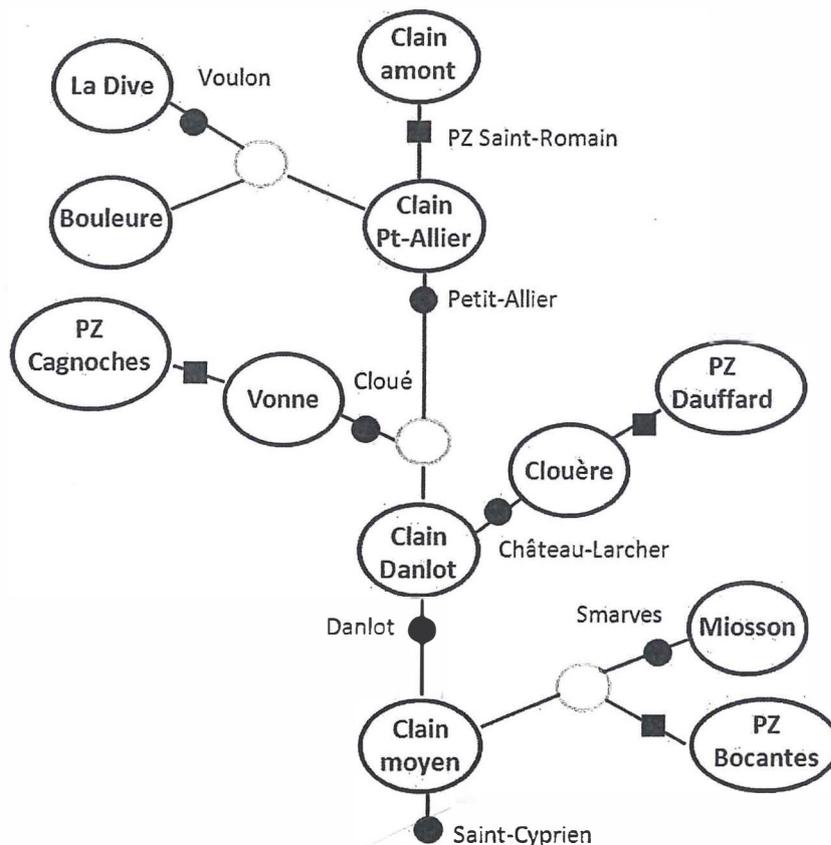


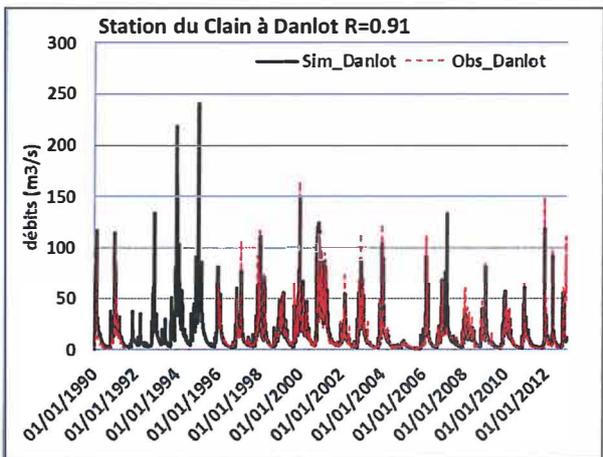
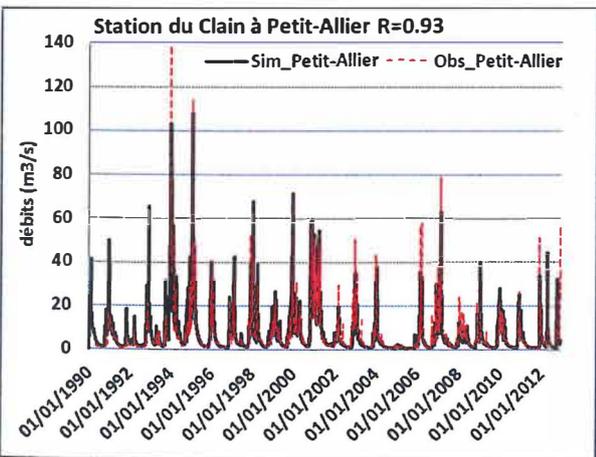
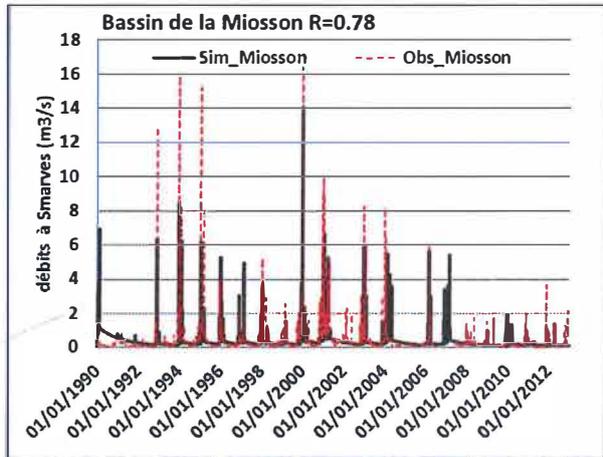
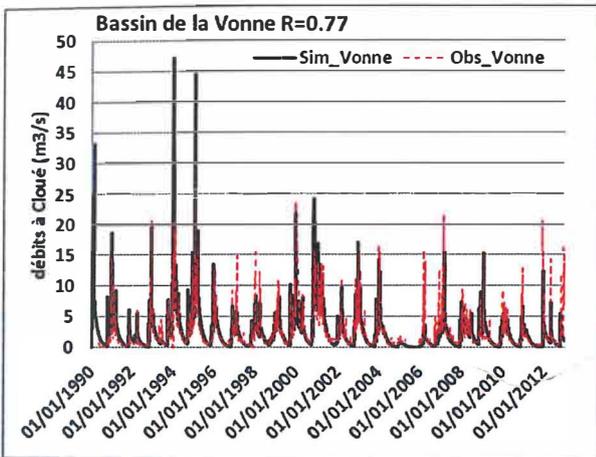
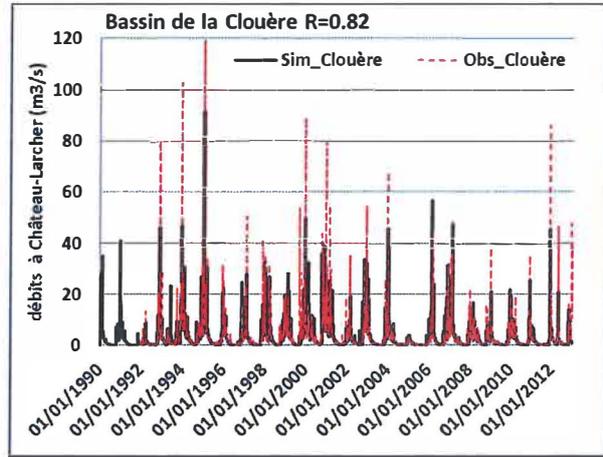
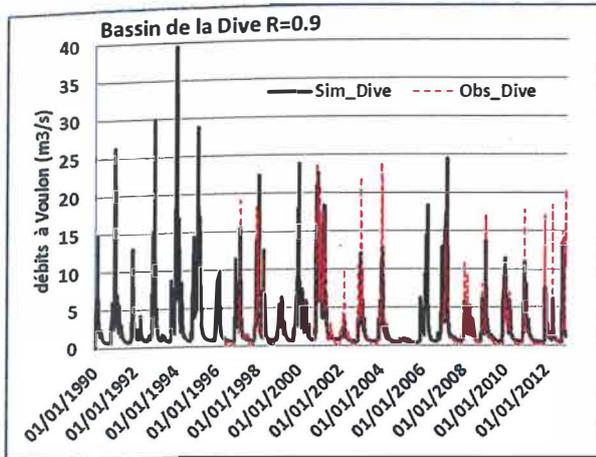
Illustration 43 : Schéma conceptuel de la modélisation du Clain à Saint-Cyprien sous EROS

4.2. RESULTATS DE LA MODELISATION : CALAGE

La modélisation à l'aide du code de calcul EROS restitue globalement correctement les débits observés aux différentes stations. (Illustration 44).

Les coefficients de corrélation pour les débits sont supérieurs à 0.8 en dehors de la station Cloué sur la Vonne et de Saint-Cyprien sur le Clain (0.74) où les débits supérieurs à 150 m³/s ne sont pas parfaitement reproduits.

A titre indicatif, les débits en aval du Clain amont ont été ajoutés comme sortie du modèle (Illustration 45).



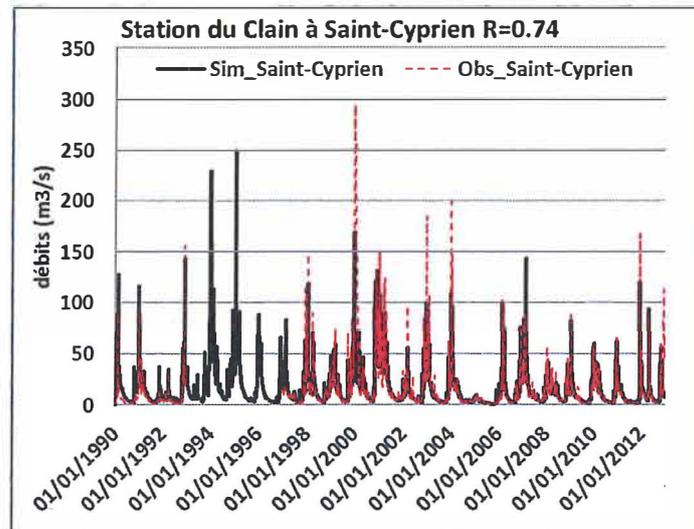


Illustration 44 : Comparaison des débits simulés et observés aux différentes stations hydrométriques du modèle.

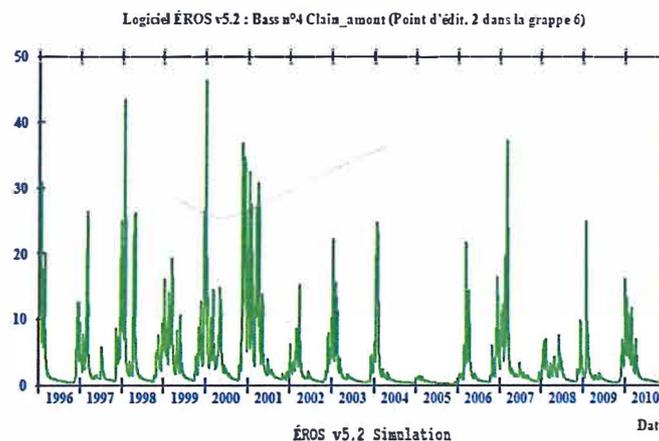


Illustration 45 : Reconstitution des débits en aval du bassin versant du Clain amont (m^3/s).

Les niveaux piézométriques de Cagnoches, Dauffard et Saint-Romain sont bien reproduits avec un coefficient de corrélation supérieur ou égal 0.9 (Illustration 46). De même que dans TEMPO, le piézomètre de Bocantes est plus difficilement modélisable avec un coefficient de corrélation de 0.76.

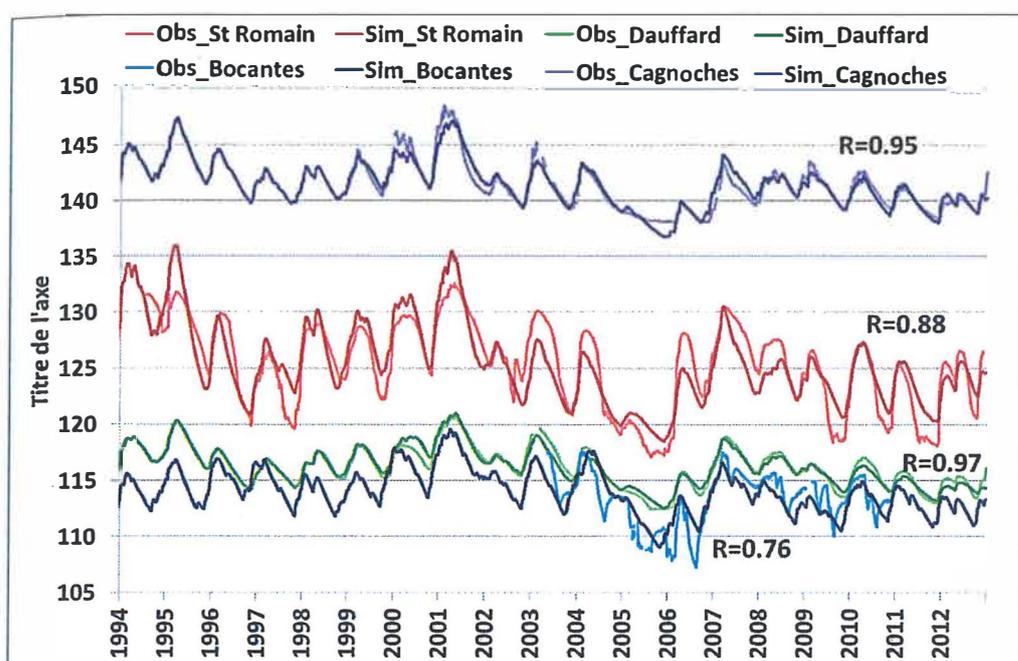


Illustration 46 : Comparaison des niveaux piézométriques simulés et observés aux stations de Saint-Romain, Dauffard, Bocantes et Cagnoches.

L'illustration 47 présente la décomposition de la lame d'eau écoulee à Saint-Cyprien. La contribution des eaux souterraines au débit à Saint-Cyprien, exutoire du bassin versant étudié, est relativement faible en période de crue, de l'ordre de 7 % pour une lame d'eau écoulee supérieure à 2.1 m (Tableau 16). On retrouve donc ici les valeurs issues des modélisations précédentes (TEMPO et GARDENIA).

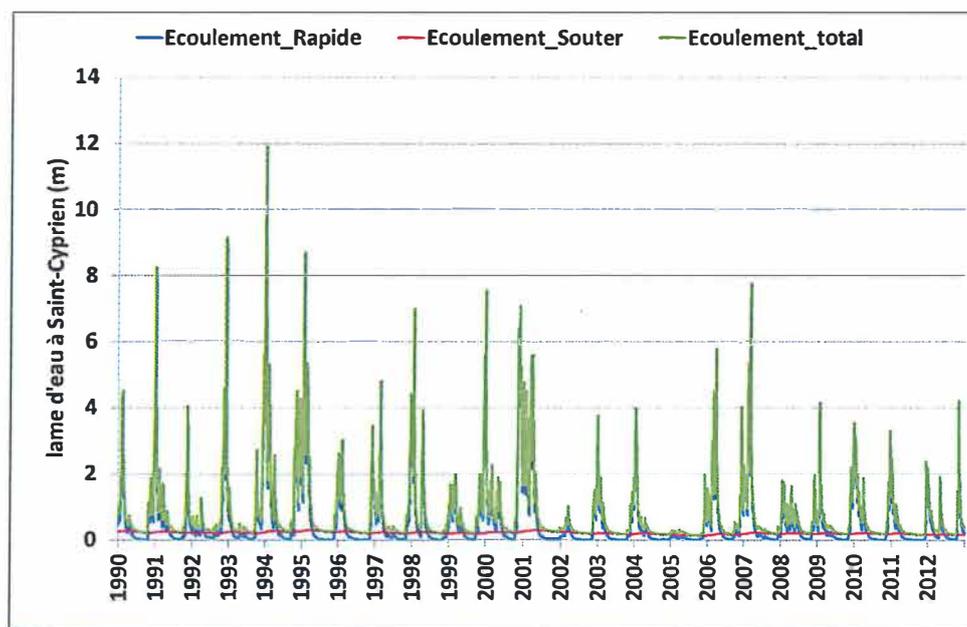


Illustration 47 : Décomposition de l'écoulement entre écoulement rapide et écoulement souterrain.

	%Q _{sout}
max	13.8%
min	1.9%
moyenne	6.9%

Tableau 16 : Contribution des eaux souterraines pour une lame d'eau écoulée supérieur à 2.1 m à la station Saint-Cyprien

Le modèle apporte aussi des bilans à l'échelle des sous bassins versants (Tableau 17) ou des bilans cumulatifs par bassin versant (Tableau 18).

	Pluie	ETR	PI Eff	Q rap	Q_sout1	Q_Echan	%Q_sout	%Q_echan
Dive	817.8	569.3	254.5	194.4	70.8	5.8	26.7	2.3
Bouleure	817.8	778.5	59.4	0.4	60.1	0.0	99.4	0.0
Clain_amont	815.6	581.1	238.4	187.6	52.0	0.0	21.7	0.0
Petit-Allier	816.7	627.2	197.9	138.6	63.4	1.8	31.4	0.9
Cagnoches_pz	817.2	545.2	275.2	168.3	109.7	0.0	39.4	0.0
Vonne	870.9	730.2	152.7	42.5	139.8	27.4	76.7	18.0
Dauffard_pz	763.0	564.1	204.1	164.9	41.2	0.0	20.0	0.0
Clouère	763.0	529.0	238.4	116.9	152.4	29.3	56.6	12.3
Danlot	822.0	611.4	218.2	111.6	120.6	11.8	51.9	5.4
Miosson	760.9	661.7	106.8	28.7	53.9	-27.0	65.2	-25.3
Bocantes_pz	707.9	391.8	317.2	224.1	94.7	0.0	29.7	0.0
Saint-Cyprien	814.4	615.0	207.0	97.5	120.0	8.3	55.2	4.0

Tableau 17 : Bilans par sous bassins fournis par le modèle EROS

	Pluie	ETR	PI_Eff	Q rap	Q_souter	Q_echang	%Q_sout	%Q_echan
Dive	817.8	569.3	254.5	194.4	70.8	5.8	26.7	2.3
Bouleure	817.8	778.5	59.4	0.4	60.1	0.0	99.4	0.0
Clain_amont	815.6	581.1	238.4	187.6	52.0	0.0	21.7	0.0
Petit-Allier	815.6	723.6	104.8	0.8	105.7	0.0	99.2	0.0
Cagnoches_pz	817.2	545.2	275.2	168.3	109.7	0.0	39.4	0.0
Vonne	871.1	730.7	152.4	42.1	139.9	27.5	76.9	18.1
Dauffard_pz	763.0	564.1	204.1	164.9	41.2	0.0	20.0	0.0
Clouère	763.0	528.9	238.5	116.7	152.7	29.3	56.7	12.3
Danlot	871.1	423.8	447.9	92.9	356.6	0.0	79.3	0.0
Miosson	760.9	661.7	106.8	28.7	53.9	-27.0	65.2	-25.3
Bocantes_pz	707.9	391.8	317.2	224.1	94.7	0.0	29.7	0.0
Saint-Cyprien	778.6	615.7	169.4	4.0	167.6	0.0	97.7	0.0

Tableau 18 : Bilans intégrés par bassins versant fournis par le modèle EROS

4.3. UTILISATION DU MODELE EN SIMULATION

4.3.1. Premier jeu de simulation

Plusieurs scénarios (Tableau 19) ont été définis afin d'analyser le comportement du bassin versant et tenter de faire le lien entre niveaux piézométriques et débit à l'exutoire en période de

crue. Le principe de ces scénarios a été de partir de l'état observé à une date particulière et de simuler des pluies.

Les dates du 18 octobre 2006, du 29 décembre 2006 et du 06 février 2007 ont été sélectionnées. Pour chacun de ces trois cas, des pluies réparties sur deux jours et de manière uniforme dans l'espace ont été testées : 20 mm, 40 mm, 60 mm, 80 mm et 100 mm.

Le Tableau 19 donne les niveaux observés pour les trois piézomètres comme pour le débit à Pont St-Cyprien, aux trois dates retenues.

A titre de référence, des seuils piézométriques (Tableau 20) pour les piézomètres de Bocantes, Dauffard, Saint-Romain et Cagnoche ont été prédéfinis et les analyses qui vont suivre consisteront à les valider ou non.

Sur l'illustration 48, les débits réellement observés à Pont St-Cyprien sont représentés en trait rouge continu et le seuil d'alerte ($60 \text{ m}^3/\text{s}$, Annexe 5) en trait rouge discontinu. Aux trois dates sélectionnées, le débit observé ne dépasse pas le seuil de $60 \text{ m}^3/\text{s}$. Les niveaux piézométriques ainsi que leurs seuils respectifs (Tableau 20) à Bocantes (+114 m NGF), Dauffard (+116 m NGF), Saint-Romain (+127 m NGF), et Cagnoche (+141 m NGF), sont positionnés sur le graphe en utilisant l'axe situé à droite du graphique.

Dans le cas 1, les niveaux observés sur les piézomètres sont tous inférieurs aux seuils piézométriques prédéfinis. Le débit observé à Pont St-Cyprien était de $4.7 \text{ m}^3/\text{s}$. Les débits simulés correspondant aux différents scénarios de pluie sont représentés en dégradé de bleu avec des traits pleins, discontinus ou en pointillés. Le débit simulé ne dépasse le seuil de $60 \text{ m}^3/\text{s}$ qu'à partir d'une pluie égale à 80 mm sur 48 H, ce qui correspond déjà à un événement important.

Dans le cas 2, les piézomètres ont atteints ou sont autour de leur seuil de référence. Le débit du Clain était de $12.9 \text{ m}^3/\text{s}$. Les débits simulés sont représentés en dégradé de rose avec des traits plein, discontinu ou en pointillé. Dès 40 mm de pluie tombée sur l'ensemble du bassin, le débit simulé dépasse le seuil fixé pour le passage en vigilance jaune.

Dans le cas 3, tous les piézomètres ont dépassés leur seuil et le débit du Clain était de $18 \text{ m}^3/\text{s}$. Les débits simulés sont représentés en dégradé de vert avec des traits plein, discontinu ou en pointillé. Comme dans le cas 2, le débit d'alerte est dépassé dès 40 mm de pluie.

D'après ces scénarios, les seuils piézométriques prédéfinis semblent être cohérent. Il conviendrait toutefois de ramener celui de Cagnoche à 140 m. Il est alors possible de dire que si les seuils définis pour les piézomètres de Bocantes, Cagnoche, Saint-Romain ou Dauffard, sont atteints alors l'alerte de vigilance pourrait être déclenchée pour un minimum de pluie de 40 mm en deux jours et un débit du Clain supérieur à $13 \text{ m}^3/\text{s}$. On voit qu'en multipliant ce type de scénarios, on peut mettre au point des abaques permettant d'intégrer des valeurs seuils piézométriques dans la gestion des crues.

		Niveaux piézométriques observés				Débit observé
		H Bocantes	H Cagnoche	H StRomain	H_Dauffard	
CAS 1	18/10/2006	111.1	138.1	122.6	113.9	47
CAS 2	29/12/2006	114.4	139.2	126.4	115.9	129
CAS 3	06/02/2007	115.2	141.0	127.9	116.9	180

Tableau 19 : Définition des scénarios testés

seuil_bocantes	seuil_Cagnoche	seuil_stromain	seuil_dauffard	seuil_stcyp
m	m	m	m	m3/s
114	141	127	116	60

Tableau 20 : Seuils piézométrique proposés

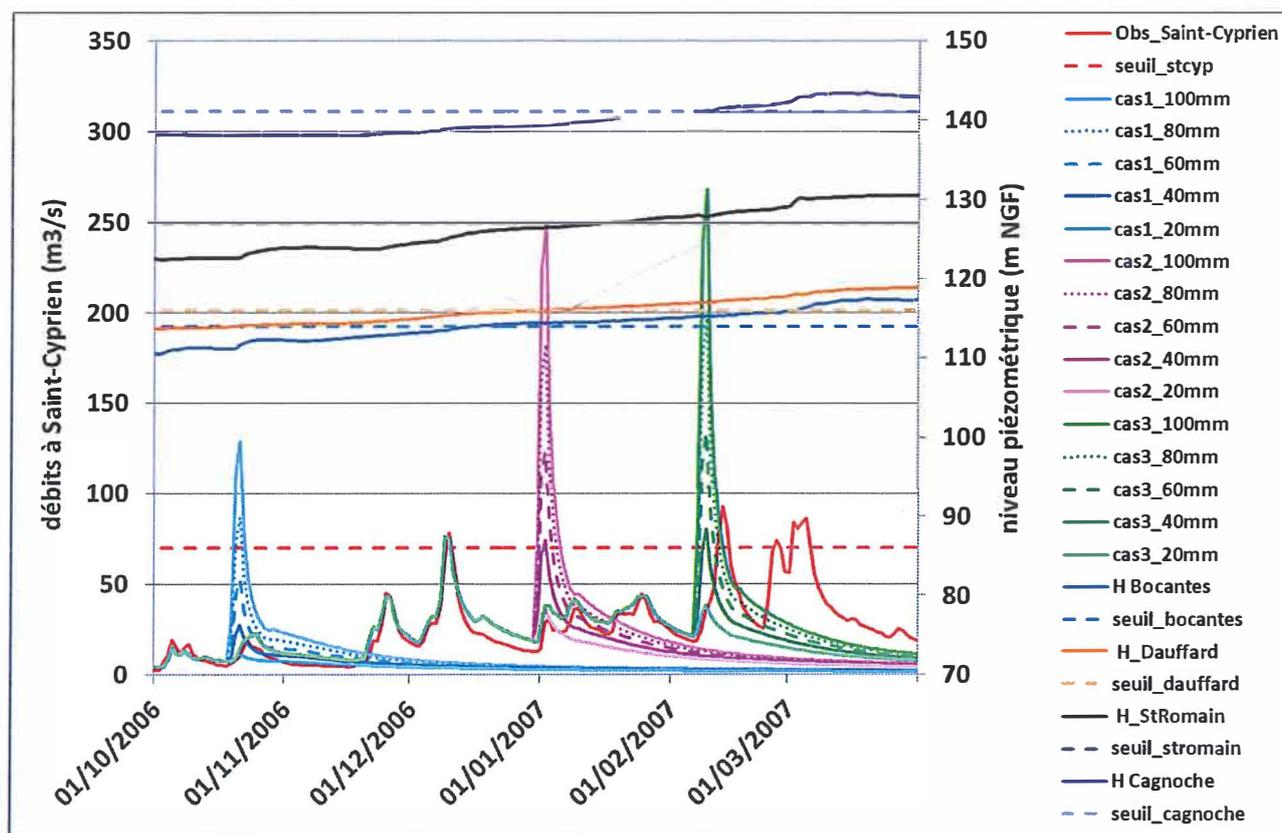


Illustration 48 : Représentation des différents scénarios simulés

4.3.2. Confrontation des seuils sur les piézomètres aux épisodes de crue entre 2006 et 2012

L'illustration 49 représente sur le même graphique les débits à Saint-Cyprien et les niveaux piézométriques à Bocantes, Dauffard, Saint-Romain et Cagnoche ainsi que leur seuil respectif. On remarque que les périodes de recharge s'étalent généralement du mois d'octobre au mois de mars et les périodes de vidange d'avril à septembre.

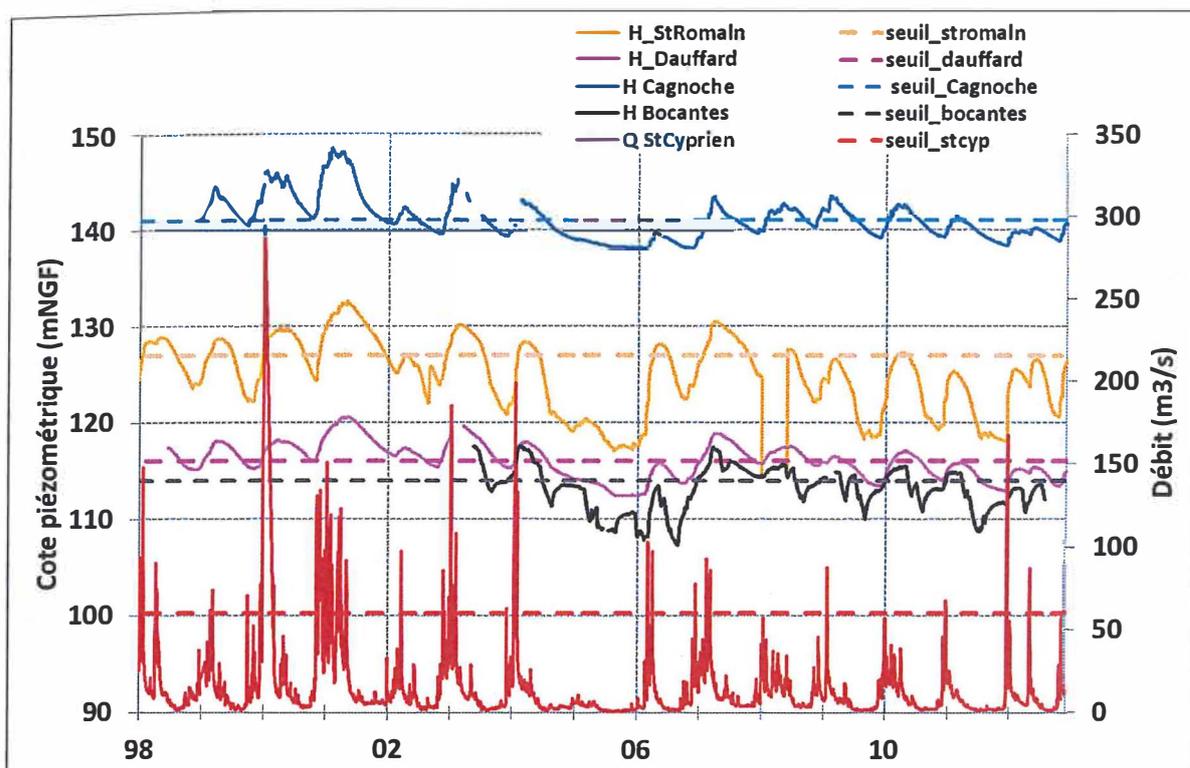


Illustration 49 : Représentation des débits à Saint-Cyprien et des niveaux piézométriques à Bocantes, Dauffard, Saint-Romain et Cagnoche et de leurs seuils respectifs.

La DREAL a fourni un tableau listant l'historique des mises en alerte jaune entre 2006 et 2012 (annexe 5). Ce tableau a été complété en ajoutant les niveaux piézométriques aux piézomètres de Bocantes, Dauffard, Saint-Romain et Cagnoche en début de vigilance et avant l'épisode pluvieux (Tableau 21).

Les niveaux piézométriques de l'hiver 2005/2006 étaient généralement bas (inférieurs aux seuils fixés). Pour cette année, les débits ont dépassés le débit d'alerte de $60 \text{ m}^3/\text{s}$ dans les cas où le cumul de pluie était assez important.

Les niveaux piézométriques de l'hiver 2006/2007 sont hauts. C'est l'hiver où il y a eu le plus de passage en alerte jaune.

Les années 2011 et 2012 sont des années avec des niveaux piézométriques assez bas avec une remontée fin 2012.

Pour chaque événement, les débits maximums journaliers ont été reportés. On remarque que pour certains épisodes, l'alerte jaune a été déclenchée mais le débit n'a pas atteint les $60 \text{ m}^3/\text{s}$ correspondant au seuil de vigilance (cases non colorées en rouge dans le Tableau 21).

Les épisodes pour lesquels un des seuils piézométriques était atteint ont tous engendré un débit supérieur au seuil d'alerte en vigilance jaune. Les autres épisodes ont vu des débits supérieurs à $60 \text{ m}^3/\text{s}$ si le cumul des pluies était important ou intense dans le temps.

Relations nappes-rivière en période de crue dans le bassin du Clain

Début vigilance			Fin vigilance			Début vigilance					avant l'épisode pluvieux					remarques		
Jour/Heure Passage en vigilance jaune	Hauteur (m)	Pluie tombée sur les dernières 36 heures (mm)	Jour/Heure Lever de la vigilance jaune	Hauteur (m)	débit max journalier épisode	total épisode pluvieux à Poitiers	total pluie à Poitiers derniers 48H	H Bocantes	H Cagnoche	H_StRomain	H_Dauffard	Q StCyprien	H Bocantes	H Cagnoche	H_StRomain		H_Dauffard	Q StCyprien
05/03/2006 16:00	2.19	21	10/03/2006 16:00	2.09	108	62	50	108.3	123.8	113.8	98.9	01/03/2006	108.2	122.1	113.6	83	niveaux bas, forte pluie	
25/03/2006 10:00	1.85	10	26/03/2006 10:00	2.02	47.6	30	20	111.5	139.0	126.4	114.6	21/03/2006	111.3	138.9	126.2	114.7	86.6	niveaux encore un peu bas
07/12/2006 10:00	1.72	17	11/12/2006 16:00	2.18	77.8	35	22	113.4	138.7	124.7	115.2	06/12/2006	113.3	138.6	124.7	115.1	77.9	niveaux moyens
11/02/2007 10:00	1.93	21	14/02/2007 16:00	2.41	52.4	63	18	115.2	141.2	128.0	117.1	05/02/2007	115.2	127.8	116.8	128.8		tous niveaux hauts
15/02/2007 10:00	2.21	0	16/02/2007 10:00	2.08	13.02	9		115.3	141.5	128.3	117.3							
24/02/2007 10:00	1.81	23	12/03/2007 10:00	2.04	78.5	33	27	115.7	141.8	128.7	117.5	21/02/2007	115.6	141.6	128.6	117.4	27.9	
					87.6				142.3	124.2	115.9	16/01/2009		141.9	124.3	115.8	18.3	
23/01/2009 10:00	1.65	10	28/01/2009 16:00	2.03					142.8	124.3	115.9							
01/01/2010 10:00	1.94	13	02/01/2010 16:00	2.08	56.5	40	20	114.1	141.0	123.1	114.6	26/12/2009	113.8	140.3	122.2	114.2	37.1	niveaux plutôt bas
03/04/2010 16:00	1.63	17	04/04/2010 16:00	1.85	38.4	73	23	115.4	142.4	127.2	116.9	23/03/2010	115.4		127.1	116.8	41.8	niveaux assez hauts
07/12/2010 16:00	1.71	10	08/12/2010 10:00	1.8	45.7	52	26	113.3	139.5	121.1	114.1	04/12/2010	113.1	139.2	119.7	114.0	46	niveaux plutôt bas
21/12/2010 10:00	2.01	20	25/12/2010 10:00	1.99	57.4	46	20	114.0	140.0	123.2	114.6	17/12/2010	113.8	139.7	122.5	114.4	29.7	niveaux plutôt bas, hausse Bocantes
16/12/2011 10:00	1.87	51	20/12/2011 16:00	1.99	167	140	60	111.7	139.0	120.9	113.4	07/12/2011	111.6	138.3	118.2	112.9	45	niveaux bas, forte pluie
28/04/2012 16:00	1.55	44	03/05/2012 10:00	2.06	87.1	140	54	111.9	139.6	124.0	114.9	16/04/2012	111.6	139.6	124.0	114.8	46	niveaux bas, forte pluie
14/10/2012 16:00	1.36	40	15/10/2012 10:00	1.34	8	39	35		138.9	120.6	113.5	12/10/2012		138.8	120.6	113.4	35	niveaux bas
20/10/2012 16:00	1.51	34	21/10/2012 16:00	1.68	29	50	50		139.1	121.4	113.6	18/10/2012		138.9	120.8	113.4	40	niveaux bas
03/11/2012 10:00	1.6	21	07/11/2012 10:00	2.04	57.4	83	46		140.0	123.8	113.8	30/10/2012		139.6	122.8	113.7	40	niveaux moyens
15/12/2012 16:00	1.71	28	21/12/2012 16:00	2.09	89.1	58	36		141.0		115.1	12/12/2012		140.6		115.1	20.4	niveaux hauts

Tableau 21 : Historique des mises en vigilance jaune sur le Clain sur la période 2006-2012

4.3.3. Second jeu de simulations

Les événements du 05 mars 2006 et du 14 octobre 2012 ont été sélectionnés pour des tests supplémentaires. Ces tests ont consisté à simuler :

- des pluies de 30 et 60 mm uniformément réparties sur trois jours pour l'événement du 05 mars 2006 (Illustration 50) [arrêts des pluies ensuite] ;
- des pluies de 20, 40 et 60 mm uniformément réparties sur deux jours pour l'événement du 14 octobre 2012 (Illustration 51) [arrêts des pluies ensuite].

Dans le premier cas, le débit observé a atteint $103 \text{ m}^3/\text{s}$ alors que les niveaux piézométriques étaient relativement bas et bien en-dessous des seuils proposés. Pour une pluie de 30 mm, plus faible que les 60 mm réellement tombés (entraînant le déclenchement de l'alerte jaune), le débit n'aurait pas atteint les $60 \text{ m}^3/\text{s}$ mais aurait été de $35 \text{ m}^3/\text{s}$.

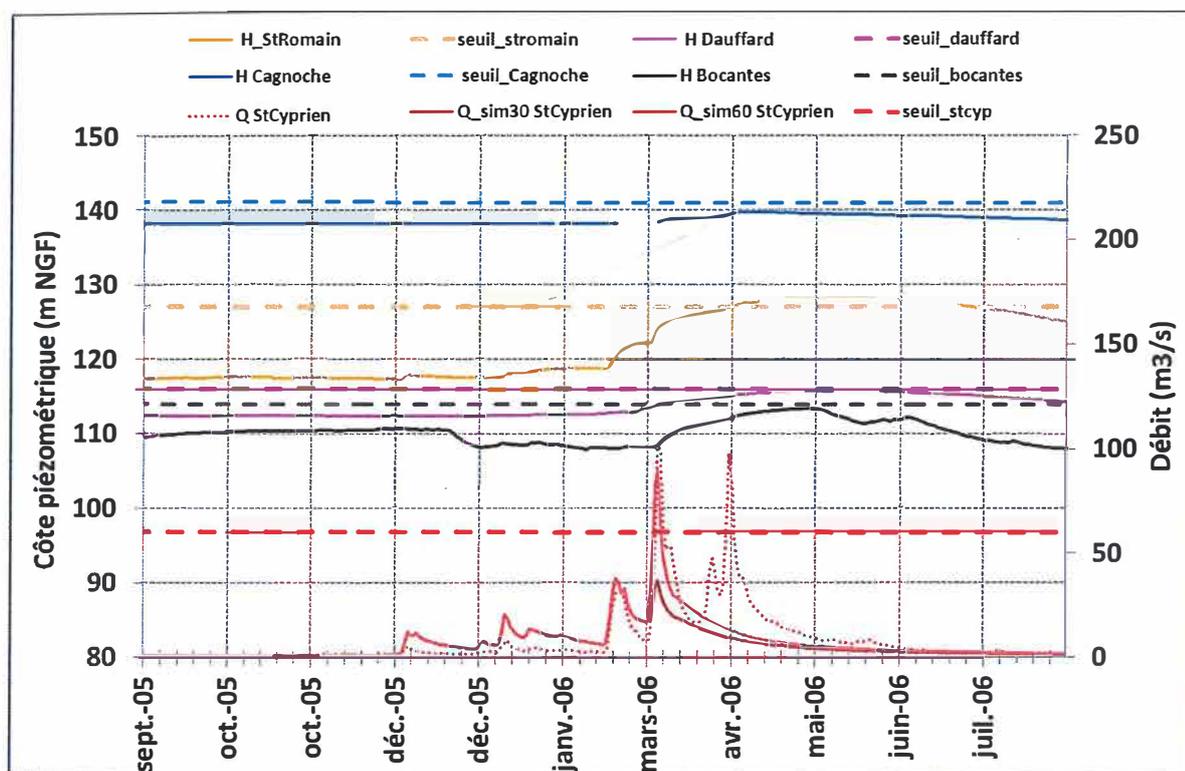


Illustration 50 : Tests des pluies à 30 et 60 mm pour l'événement du 05/03/2006

Dans le second cas, l'alerte jaune a été déclenchée alors que le débit maximum journalier (à Pont St-Cyprien) de cet épisode a été très faible : $8 \text{ m}^3/\text{s}$. Les niveaux piézométriques à cette date sont bas. Le test montre qu'il faut une impulsion au moins de 90 mm sur deux jours, correspondant à un fort épisode pluvieux, pour que le débit d'alerte soit dépassé.

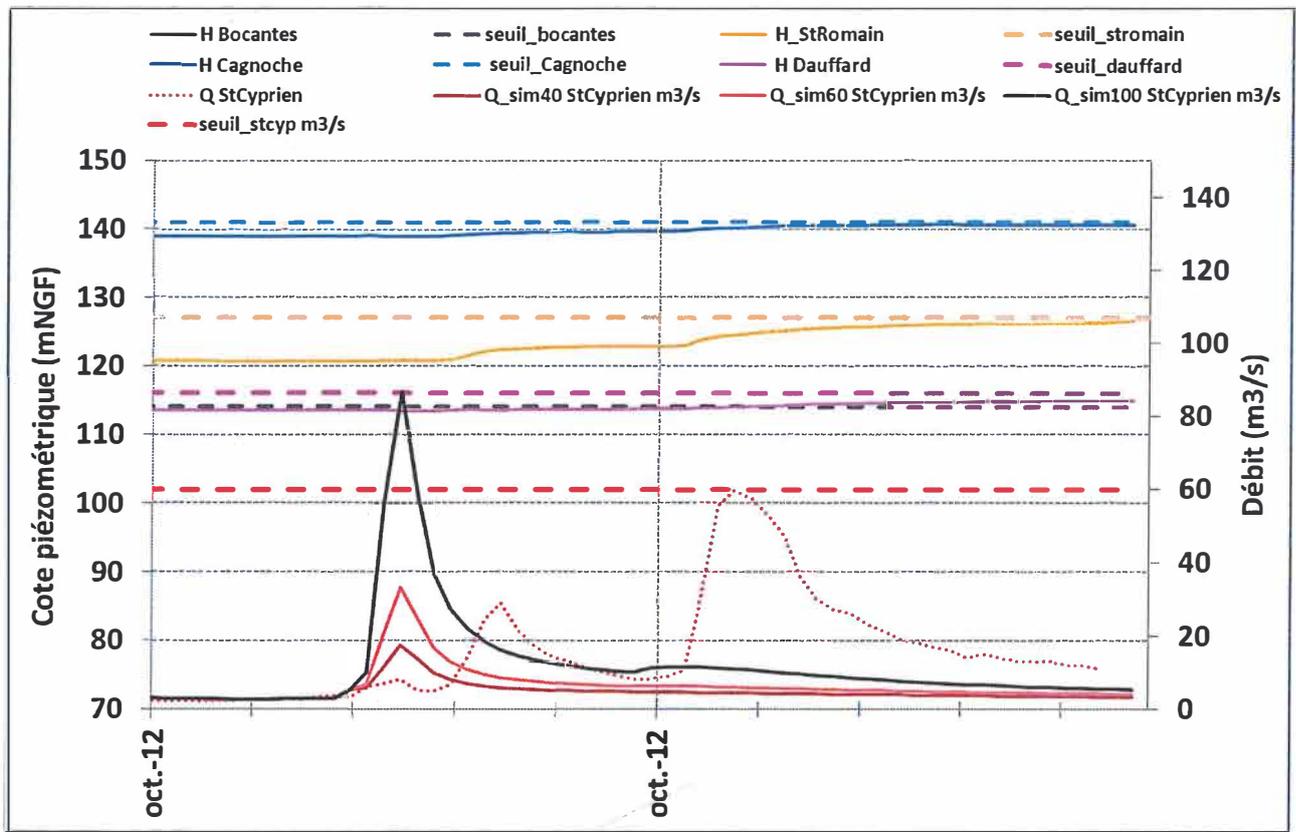


Illustration 51 : Tests des pluies à 20, 40 et 60 mm pour l'événement du 14/10/2012

En conclusion, on peut dire que les abaques utilisés par la DREAL pourraient être consolidés en ajoutant la contrainte définie par les seuils piézométriques ; à savoir le dépassement du seuil sur au moins un piézomètre indicateur. En revanche, si les niveaux piézométriques sont en dessous des valeurs seuils, l'abaque utilisé est un peu trop pessimiste dans le sens où la vigilance jaune pourrait être déclenchée que pour des pluies annoncées plus importantes. Une analyse plus fine ainsi que des tests supplémentaires seraient à effectuer.

5. Conclusion

Le bassin versant du Clain se caractérise principalement par l'existence de plateaux calcaires du Jurassique karstique entaillés par un réseau hydrographique dont la faible densité souligne l'importance des circulations souterraines. Dans les conduits karstiques, les circulations d'eau peuvent être rapides et la contribution des nappes peut venir gonfler des phénomènes de crues et d'inondation à l'aval du bassin, en particulier à Poitiers. C'est une des préoccupations du Service de prévision des crues Vienne-Thouet qui souhaiterait intégrer des indicateurs en nappe pour l'anticipation des crues. En effet, ce service est parfois amené à lancer des alertes, à partir d'abaques croisant une pluie annoncée avec le débit du Clain à Poitiers, qui ne sont pas toujours suivies d'une crue de la rivière.

Afin de répondre à ces besoins, le BRGM a réalisé dans une précédente opération une analyse du bassin du Clain pour mieux caractériser l'influence des nappes dans les épisodes de crue (cf. rapport RP56834FR, 2009). Suite à ce travail, cette seconde phase a été lancée comprenant le programme de travail suivant :

- acquisition de données en équipant deux puits du bassin versant moyen du Clain : le puits de Bocantes en rive droite, à l'est des Roches-Prémarie-Andillé, et le puits de la Charbonnière en rive gauche ont été équipés de sonde automatique et suivi sur près de 3 ans. Au terme de cette seconde phase, le problème de la poursuite de ce suivi se pose.

- actualisation des modèles TEMPO et modélisation des deux nouvelles chroniques des puits équipés.

- croisement de la modélisation TEMPO avec une modélisation GARDENIA en se focalisant sur les bassins versants du Clain amont, du Clain moyen jusqu'à Poitiers et de la Clouère.

- modéliser un ou plusieurs épisodes de crue. Cependant, durant la période d'observation, il n'y a pas eu d'épisode de crue majeur.

En complément du premier rapport, l'analyse du bassin du Clain, par rapport aux phénomènes de crue, a donc été poursuivie.

Le Clain et bon nombre de ses affluents (Auxance, Boivre, Vonne, Clouère) prennent leur source sur des terrains de socle (granites, schistes...) peu perméables, sans réelle nappe souterraine, et donc propices aux ruissellements superficiels comme en témoignent des réseaux hydrographiques denses sur ces zones. En période de crue, les eaux de pluie rejoignent donc rapidement le Clain. Inversement en période d'étiage, n'ayant pas d'apports de nappe, les cours d'eau s'assèchent rapidement. Ce régime impact surtout un affluent comme la Vonne dont pratiquement la moitié du bassin versant est concerné par des terrains de socle.

Le reste du bassin versant à l'amont de Poitiers correspond principalement à des plateaux à réseaux karstiques profondément entaillés par les rivières. En période pluvieuse, la nappe des calcaires du Dogger se gonfle par infiltration des eaux de pluie. Il n'est pas rare que les vallées sèches soient réactivées temporairement, la nappe pouvant déborder dans les points bas. Les eaux souterraines rejoignent alors les rivières mais avec un effet retard plus ou moins important. Toutefois, dans les conduits karstiques principaux (rivières souterraines) les transits peuvent se faire aussi vite que dans le réseau hydrographique superficiel.

Enfin, le Clain et ses affluents circulent souvent sur les formations marneuses (imperméables) du Toarcien et de l'Aalénien, situées à la base des calcaires du Dogger. Dans ces zones, les nombreuses failles peuvent permettre des échanges avec la nappe captive de l'Infra-Toarcien.

Les différentes modélisations réalisées dans le cadre de ce travail, avec les logiciels TEMPO (basé sur l'analyse des corrélations entre les chroniques pluie, piézométrie, débit) et GARDENIA (modèles globaux basé sur des bilans de réservoir), conduisent aux mêmes conclusions : au cours d'un épisode de crue, l'apport des nappes au débit des rivières est faible, de l'ordre de 5 à 10 %, du moins en ce qui concerne les transits « lents » par les nappes du Dogger et de l'Infra-Toarcien. Cette dernière, en général captive, a une contribution très faible, fort logiquement, de quelques pourcents. Les différentes contributions calculées par les modèles sont données dans le Tableau 22 pour les bassins plus précisément étudiés dans ce travail.

BASSIN VERSANT	STATION HYDROMETRIQUE	En moyenne			En crue		
		%Qsout moyen	%Qsout Dogger	%Qsout Infra Toarcien	%Qsout crue	%Qsout Dogger	%Qsout Infra Toarcien
Clouère	La Clouère à Château-Larcher (Le Rozeau)	65 % (Tempo)	50 % (Tempo)	15 % (Tempo)	6.6 % (Tempo)	5.2 % (Tempo)	1.4 % (Tempo)
		33 % (Gardenia)	26 % (Gardenia)	7 % (Gardenia)	6.9 % (Gardenia)	5.7 % (Gardenia)	1.2 % (Gardenia)
Clain amont	Le Clain à Vivonne (Le Petit Allier)	60 % (Tempo)					
Clain moyen	Le Clain à Poitiers (Saint-Cyprien)	5% (Tempo)			< 5% (Tempo)		
		5% (Eros-BV total)			6% (Eros- BV total)		

Tableau 22 : Récapitulatif des contributions des eaux souterraines aux débits moyens et aux débits de crue

Il faut considérer qu'il s'agit ici de transferts lents dans la nappe. Il ne faut pas considérer l'importance de l'incidence des nappes sur une crue au regard de ces chiffres. D'une part, en fonction de l'état de remplissage de la nappe, des réseaux karstiques peuvent être réactivés avec des circulations rapides vers les vallées, comme nous l'avons déjà souligné. D'autre part, si la nappe est « pleine » et ne peut plus assimiler d'eau de pluie, elle peut déborder dans des vallées habituellement sèches, et/ou favoriser les ruissellements superficiels, l'infiltration ne pouvant se faire.

D'une manière générale, les modélisations TEMPO et GARDENIA permettent de bien reproduire les débits des rivières dans les sous-bassins du Clain, mais pas les débits du Clain à Poitiers qui sont intégrateurs de tous les phénomènes de son bassin versant. Aussi, le logiciel EROS a été utilisé pour réaliser une modélisation de tout le bassin, jusqu'à Poitiers. Le calage de ce nouveau modèle sur les chroniques observées est satisfaisant. EROS permet de reproduire avec une bonne fiabilité les phénomènes de crue. Les résultats de cette modélisation sont aussi cohérents avec les résultats obtenus à partir des autres modèles.

EROS a été utilisé pour réaliser des simulations en faisant pleuvoir à des dates données sur des chroniques observées. Les jeux de simulations réalisés permettent de venir conforter les

seuils d'alerte proposés sur les piézomètres (Tableau 23). Dans un premier temps, ces seuils pourraient être mis à l'épreuve de la gestion des crues, en modulant les alertes.

Bassin versant	Station de débit	Débit d'alerte (en m ³ /s)	Piézomètre indicateur	Cote d'alerte (en m NGF)
Clain amont	Petit-Allier	20	St-Romain	127
Clouère	Château-Larcher	10	Dauffard	116
Clain moyen	Pont St-Cyprien	60	Bocantes	114
			Cagnoche	140

Tableau 23 : Valeurs seuils des débits et niveaux piézométriques sur les bassins versants étudiés

Il est apparu au cours de ce travail que le bassin du Clain, avec ses sous-bassins qui disposent presque tous de chroniques de débit à l'aval, est favorable à une modélisation avec EROS. Le modèle mis au point reproduit bien les chroniques observées. La réalisation de nombreuses simulations permettrait d'affiner cette approche sur les seuils en nappe et d'aboutir à un abaque de gestion non plus binaire (pluie/débit du Clain) comme actuellement, mais ternaire (pluie/débit/niveau de nappe).



6. Bibliographie

Amraoui N., Golaz C., Mardhel V., Negrel Ph., Petit V., Pinault J-L., Pointer Th. (2002) – Simulation par modèle des hautes eaux de la Somme. BRGM/RP-51827-FR

Bichot F., Pinault J. L., Lavie J., Thinon-Larminach M., Trouvé S. (2007). Recherche d'indicateurs piézométriques pour la gestion des prélèvements en nappe. Phase 1 : Bassins de la Dive du Nord, du Clain, de la Sèvre-niortaise, de la Boutonne, de la Seudre. Version 3 définitive. BRGM/RP-54569-FR.

Bichot F., Lavie J. (2007). Avis sur la délimitation du bassin hydrogéologique des aquifères Oxfordien, Dogger et Infra-Toarcien sur les secteurs Sèvre Niortaise amont et Clain amont (79). Note BRGM 07POC07 juillet 2007. 46 p.

Bichot F., Pinault J.L. (2007). Méthodologie utilisée avec le logiciel TEMPO pour la recherche d'indicateur en nappe et la disponibilité de la ressource en eau en Poitou-Charentes. BRGM/RP-55348-FR, 31 p., 19 ill.

Bichot F., Lavie J., Dequidt D., Thinon-Larminach M. (2008). Analyse des chroniques piézométriques et hydrologiques avec le logiciel Tempo pour la gestion des prélèvements en nappe – Phase 3 : Actualisation des modèles précédents – traitements des bassins versants de la Vienne, du Thouet / Sèvre Nantaise, du sud des Charentes et des nappes profondes. Rapport BRGM/RP-56481-FR, 260 p, 155 ill. 4 tab. 2 planches hors texte.

Bossis M-L (2008) Atlas des zones inondables des cours d'eau secondaires de la Vienne, La Boivre. Rapport EGIS Eau. NTS 61022G. 8 p., 2 ann.

Chamayou J., Tessier J.L. (1978) – Évaluation des ressources hydrauliques du département de la Vienne. 78 SGN 285 AQI

Lemordant Y. (1995) – Echanges nappe/rivière dans la Haute Vallée du Clain (Vienne) – R38694

Lemordant Y. (1997) – Piézométries des aquifères Infra-Toarcien et cénomanien (partie nord) en région Poitou-Charentes

Mardhel V., Pinault J-L., Stollsteiner P., Allier D. (2007) – Etude des risques d'inondation par remontées de nappes sur le bassin de la Maine. Rapport Final. Rapport BRGM RP-55562-FR

Pinault.J.L. (2001) Manuel utilisateur de TEMPO. Logiciel de traitement et de modélisation des séries temporelles en hydrogéologie et en hydrogéochimie. BRGM/RP-51459-FR -. 221 p

Pinault J.L., Amraoui N., Golaz.C. (2005). Groundwater-induced flooding in macropore-dominated hydrological system in the context of climate changes, Water Resources Research, Vol.41

Pinault J.L., Schomburgk S. (2006). Inverse modeling for characterizing surface water/groundwater exchanges, Water Resources Research, Res.42, W08414 doi : 10.1029/2005WR004587

Vincent M., Martin J.C. et Le Nindre Y.M. (1998) – Etat des connaissances dans le bassin du Clain (région Poitou-Charentes). Etudes et aménagements nécessaires à la construction d'outils de gestion. Rapport R 40055

Thinon-Larminach M. avec la collaboration de V. Ribot, N. Dörfliger, G. Karnay et F. Bichot. (2008). Recherche de la limite entre les bassins versants de la Charente et du Clain. Rapport BRGM/RP-55573-FR. 119 p., 77 ill., 5 annexes.

Autres rapports consultés :

DDE : Boissis M.-L. (2008) EGIS Eau - Atlas des zones inondables de 27 cours d'eau dans le département de la Vienne par analyse hydro-géomorphologique

ONEMA : Augereau G. (1989) - La vallée de la Boivre, un site à développer et à protéger

BCEOM (1988) - Etude des protections locales dans le bassin de la Vienne

Rapport de stage SPC - Un sentier de découvertes dans la vallée de la Boivre

SEAF (1997) – Etude d'incidence : Dossier d'autorisation temporaire pour la mise en place d'un batardeau de chantier dans le lit de la Boivre

Sites internet :

<http://www.ades.eaufrance.fr/>

http://www.eau-loire-bretagne.fr/informations_et_donnees/outils_de_consultation/Obstacles_ecoulement

<http://echo.epfl.ch/e-drologie>

<http://hydro.eaufrance.fr>

<http://www.observatoire-environnement.org>

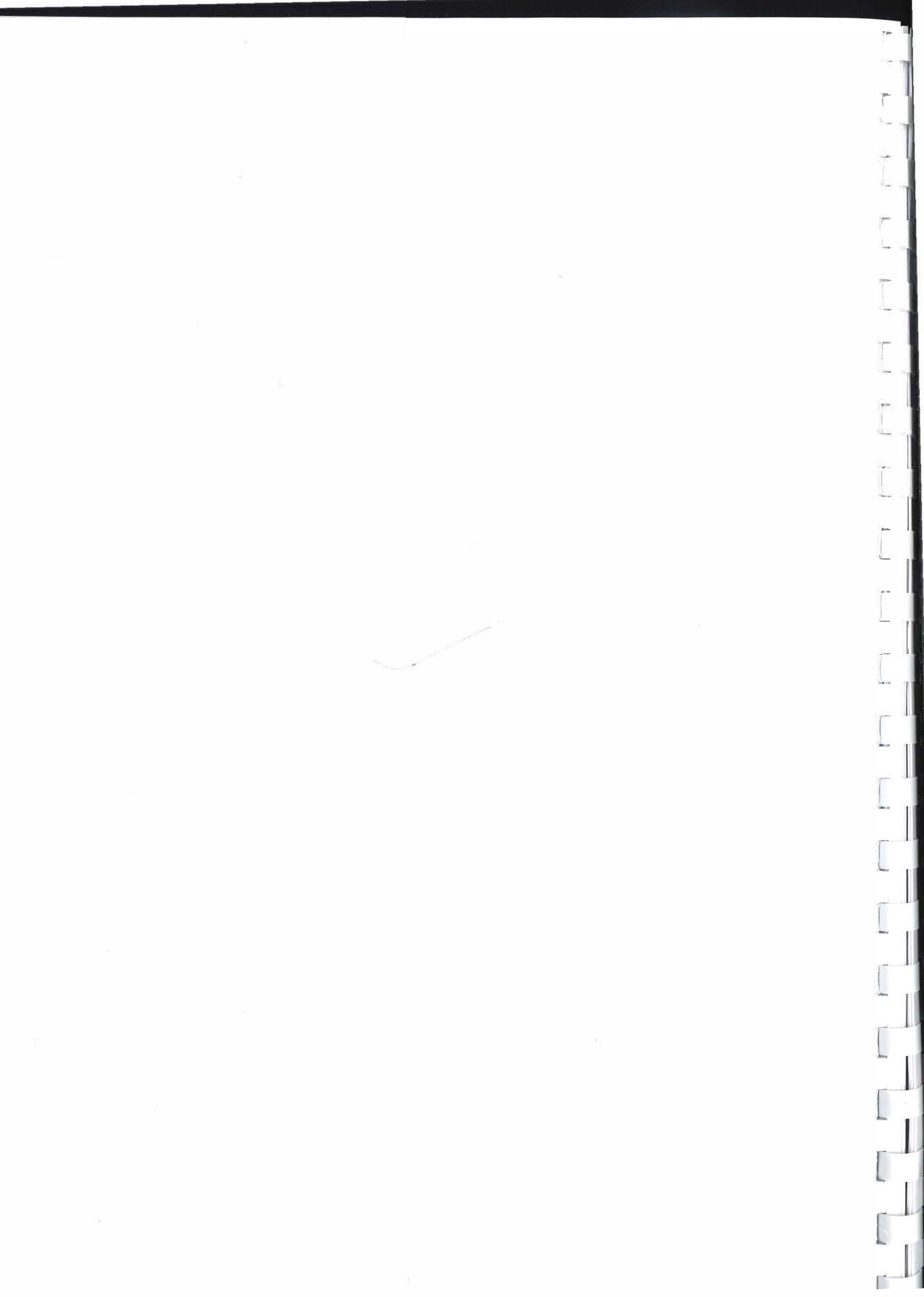
<http://sandre.eaufrance.fr/>

<http://sigespoc.brgm.fr>

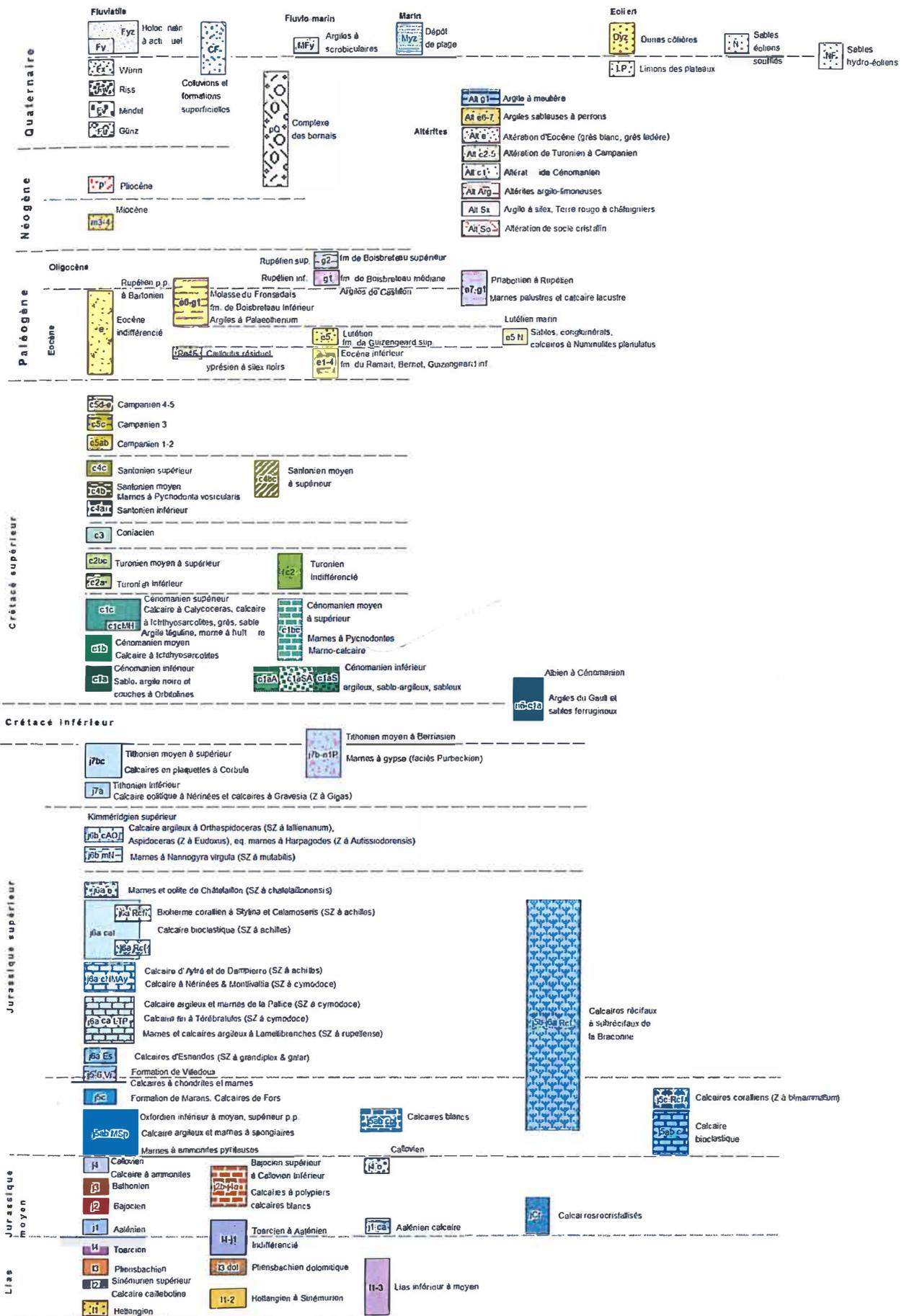
<http://climatheque.meteo.fr/>

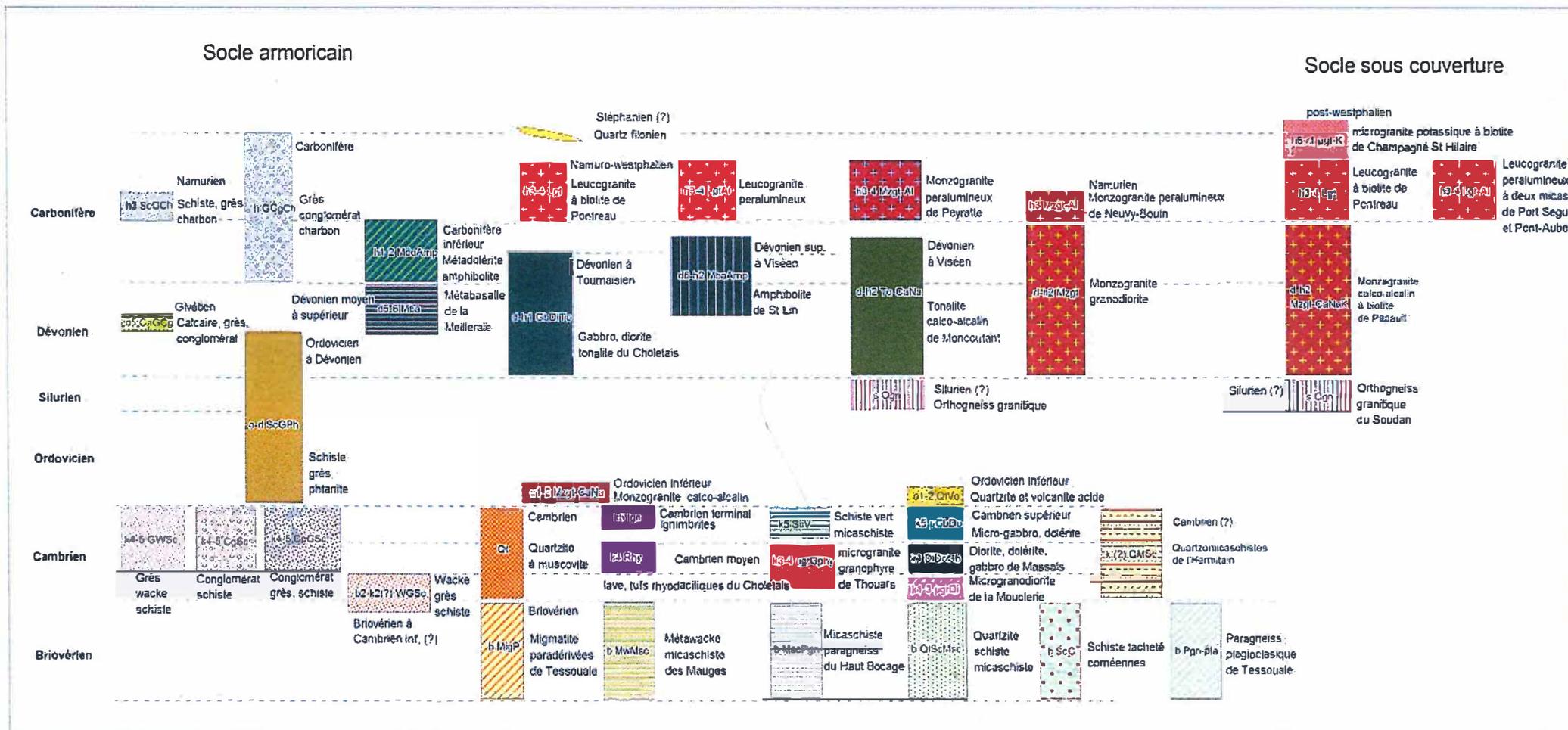
Annexe 1

Légende de la carte géologique

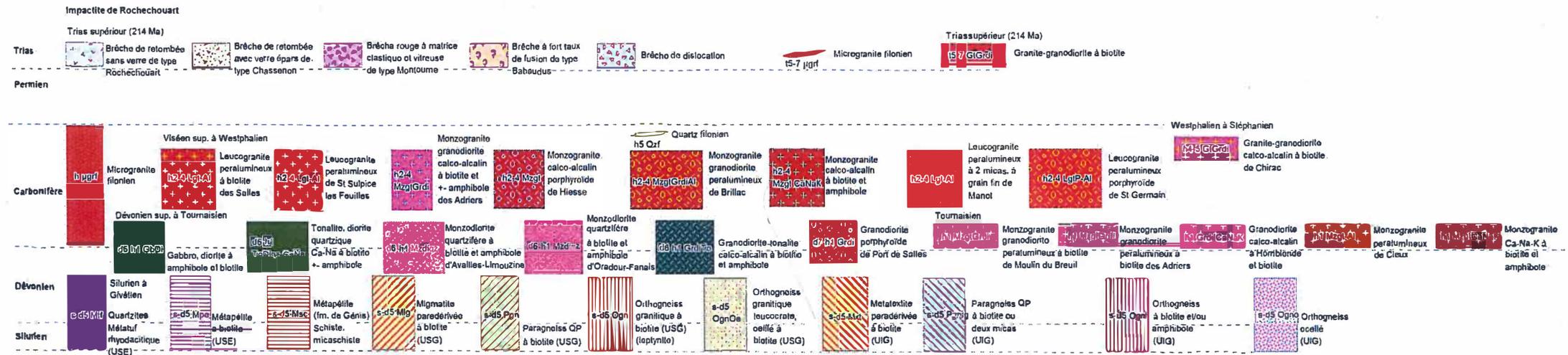


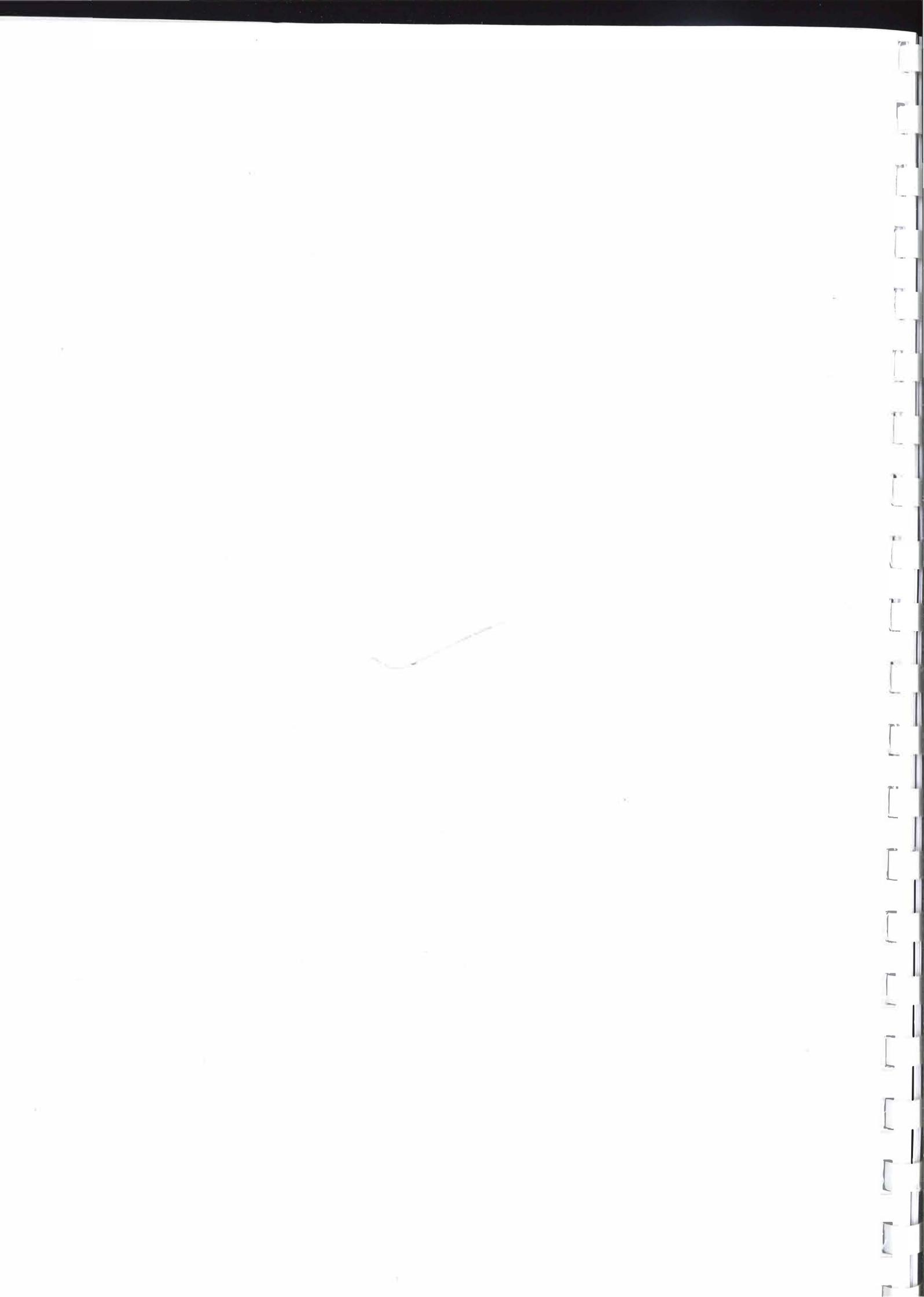
Couverture sédimentaire





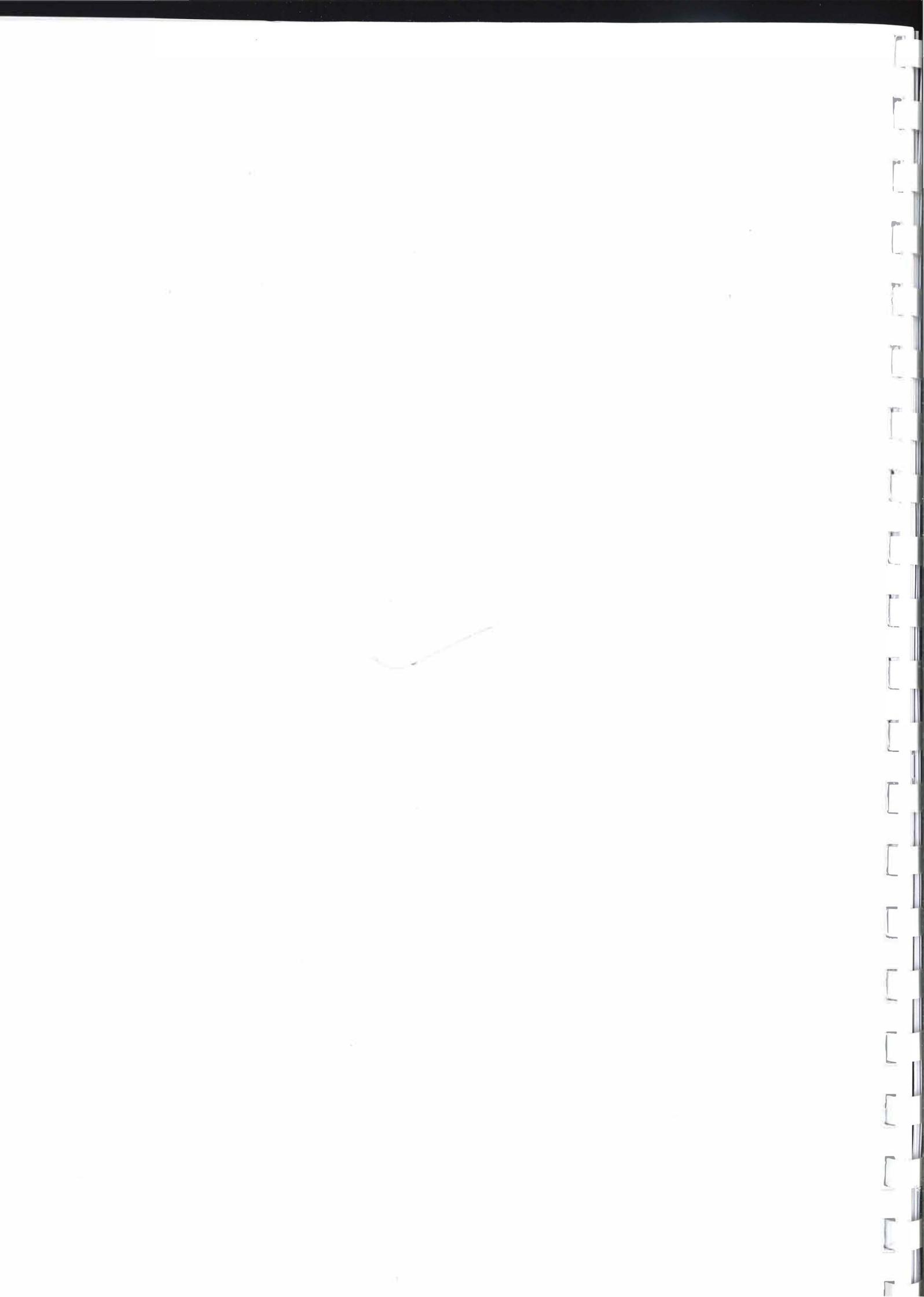
Socle limousin





Annexe 2

Le logiciel TEMPO



Généralités

Le logiciel TEMPO², développé par le BRGM, est utilisé depuis plusieurs années dans les domaines de l'hydrogéologie et de l'hydrologie pour **modéliser et prévoir des niveaux de nappes ou des débits à l'exutoire d'un bassin versant**. Il a été utilisé dans le cadre de nombreuses études portant sur la prévision de crues, la prévision des niveaux de "basses eaux" des nappes et le calcul de volumes exploitables dans des aquifères en relation avec des cours d'eau (cf. références bibliographiques).

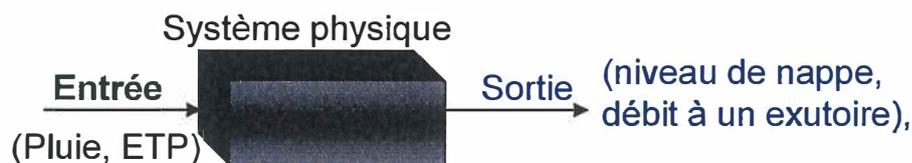


Illustration 1 : Modélisation globale du type "boîte noire"

TEMPO est un logiciel dédié à la modélisation de type "boîte noire" (illustration 1) : la modélisation d'un hydrosystème avec TEMPO consistera à reproduire des niveaux de nappe et/ou de débit (**sortie du système**) à l'aide des données climatiques (**entrées du système**). A la différence des modélisations réalisées à l'aide de "modèles maillés", qui tiennent compte explicitement des équations décrivant les écoulements, une modélisation avec TEMPO ne nécessite pas la connaissance des caractéristiques physiques de l'hydrosystème. Le système est considéré comme un "tout" et **la modélisation est dite "globale"**.

Avec des modèles de ce type, le système à modéliser se réduit à des fonctions de transfert mettant en relation une entrée du système (pluie et ETP) avec une sortie (niveaux et/ou débits).

Utilisation de l'outil Tempo

L'outil Tempo permet de rechercher la meilleure corrélation entre une pluie efficace et le niveau de la nappe puis entre le niveau de la nappe et le débit des cours d'eau (Illustration 2). Le calage consiste à reproduire le mieux possible la chronique observée.

² Nous ne présenterons ici que les éléments essentiels pour la compréhension du travail réalisé. Nous nous sommes appuyés sur les documents indiqués dans la partie Bibliographie qui pourront être consultés pour obtenir une présentation plus détaillée.

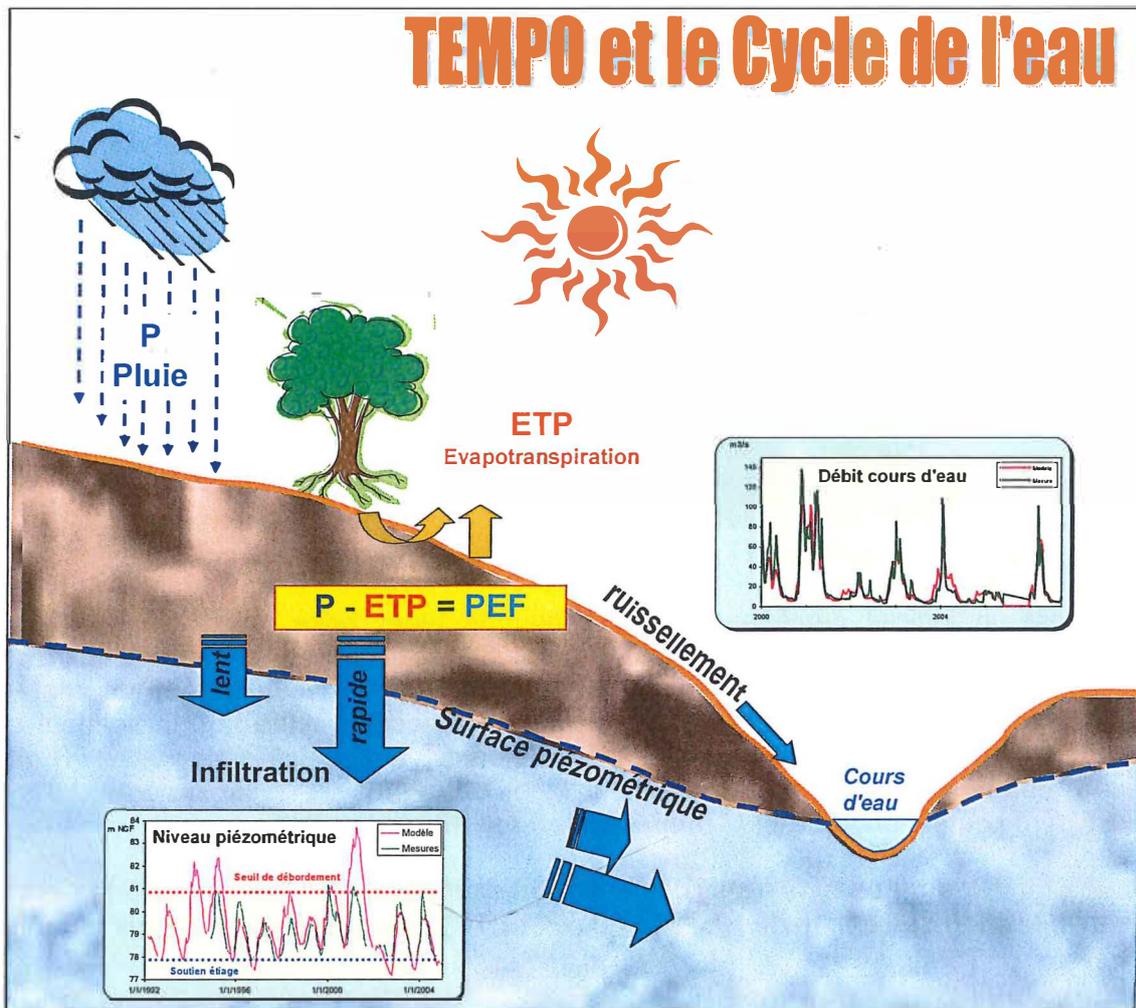


Illustration 2 : Schéma des transferts d'eau et de leur représentation selon Tempo

La relation causale entre entrées et sorties du système est matérialisée par une ou plusieurs fonctions de transfert (ou réponses impulsionnelles³) reliant les différents processus impliqués : ruissellement, infiltration, écoulement souterrain (Illustration 3).

³ RI

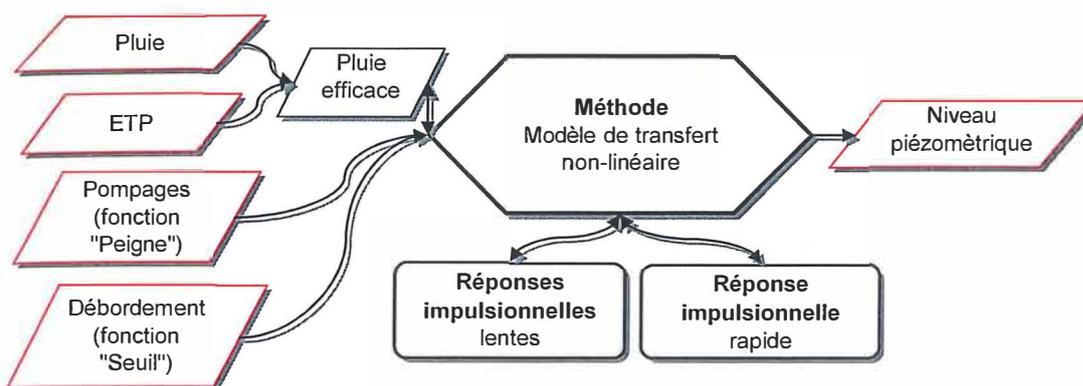


Illustration 3 : Principe d'un modèle "pluie-niveau" à réponses impulsionnelles

Lorsque plusieurs réponses impulsionnelles indépendantes sont nécessaires à la modélisation, le système est dit non linéaire. Ce système peut également avoir plusieurs entrées : c'est ainsi qu'un débit peut être reproduit à partir non seulement d'une séquence de pluie et d'ETP, mais également du niveau piézométrique d'une nappe contribuant à l'alimentation et/ou au drainage d'un cours d'eau (mise en évidence de relations nappe/rivière).

Identification des composantes d'un niveau piézométrique ou d'un débit d'un cours d'eau

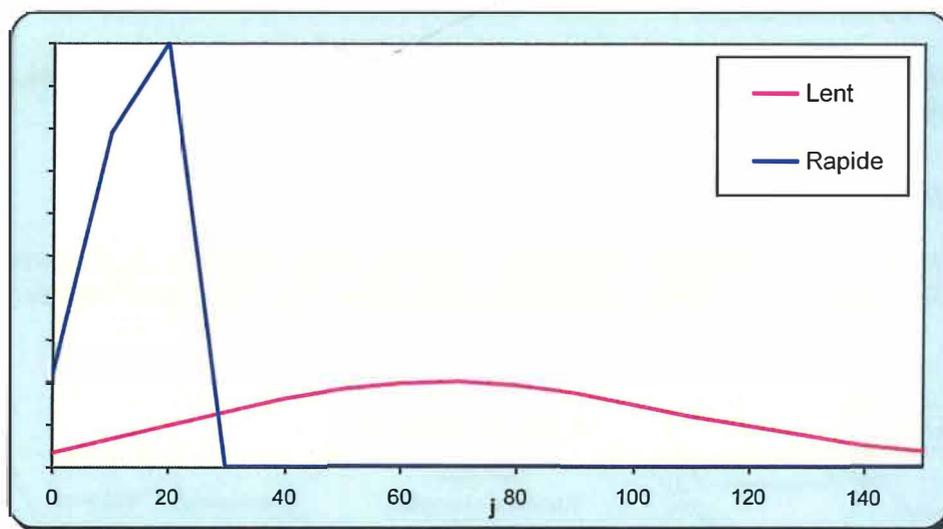


Illustration 4 : Décomposition d'une impulsion pluie en composantes lente et rapide

Plusieurs fonctions de transfert sont en général nécessaires pour simuler au mieux un système hydrologique (Illustration 4). Par exemple, il peut y avoir coexistence d'écoulements "lents" et "rapides" : la composante rapide de la fonction de transfert correspondra par exemple à la fraction de l'eau qui aura emprunté des conduits préférentiels de type karstiques et la composante lente ou différée qui est beaucoup plus amortie dans le temps, pourra correspondre à la fraction de l'eau qui aura circulé plus lentement dans les pores de la matrice ou dans les fissures.

Causes possibles d'une mauvaise adéquation entre observations et simulations

Seuil de débordement ou seuil haut

Lorsque la chronique simulée dépasse la chronique observée, en période de hautes eaux, cela montre que le niveau piézométrique ne peut dépasser une certaine cote qui peut correspondre à la cote d'une rivière ou d'une source proche, ou bien encore du niveau du sol dans le cas d'un forage artésien...

Seuil bas

La chronique simulée descend plus bas que les mesures enregistrées ; dans ce cas, cela peut signifier que la nappe bénéficie d'un apport non pris en compte : alimentation par un cours d'eau, par une nappe sous-jacente (drainance ascendante).

Impact de pompages ou de lâchures de barrage

Si la chronique piézométrique simulée ne descend pas aussi bas que la chronique réelle, cela peut correspondre à l'existence de prélèvements dans la nappe mal pris en compte par le modèle.

Dans le cas d'un débit en rivière, un débit à l'étiage observé supérieur au débit simulé peut être indicateur de l'existence de lâchures de barrage à l'amont du bassin.

Contraste de perméabilité

Le changement de pente, entre les courbes simulées et les courbes observées peut indiquer une hétérogénéité verticale dans la perméabilité du réservoir.

Débit amont

Dans le cas de la modélisation d'un débit, il peut être nécessaire et intéressant de faire apparaître en entrée un débit amont dans les composantes du débit aval (illustration 5).

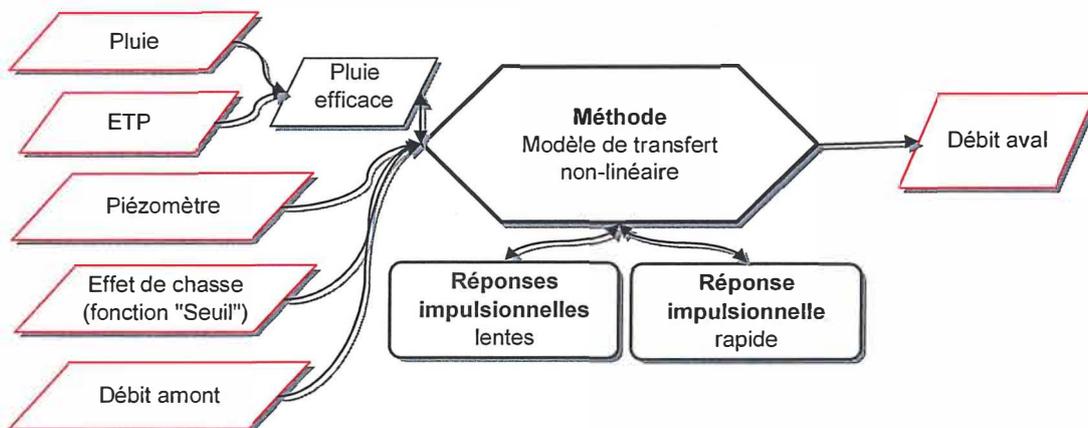


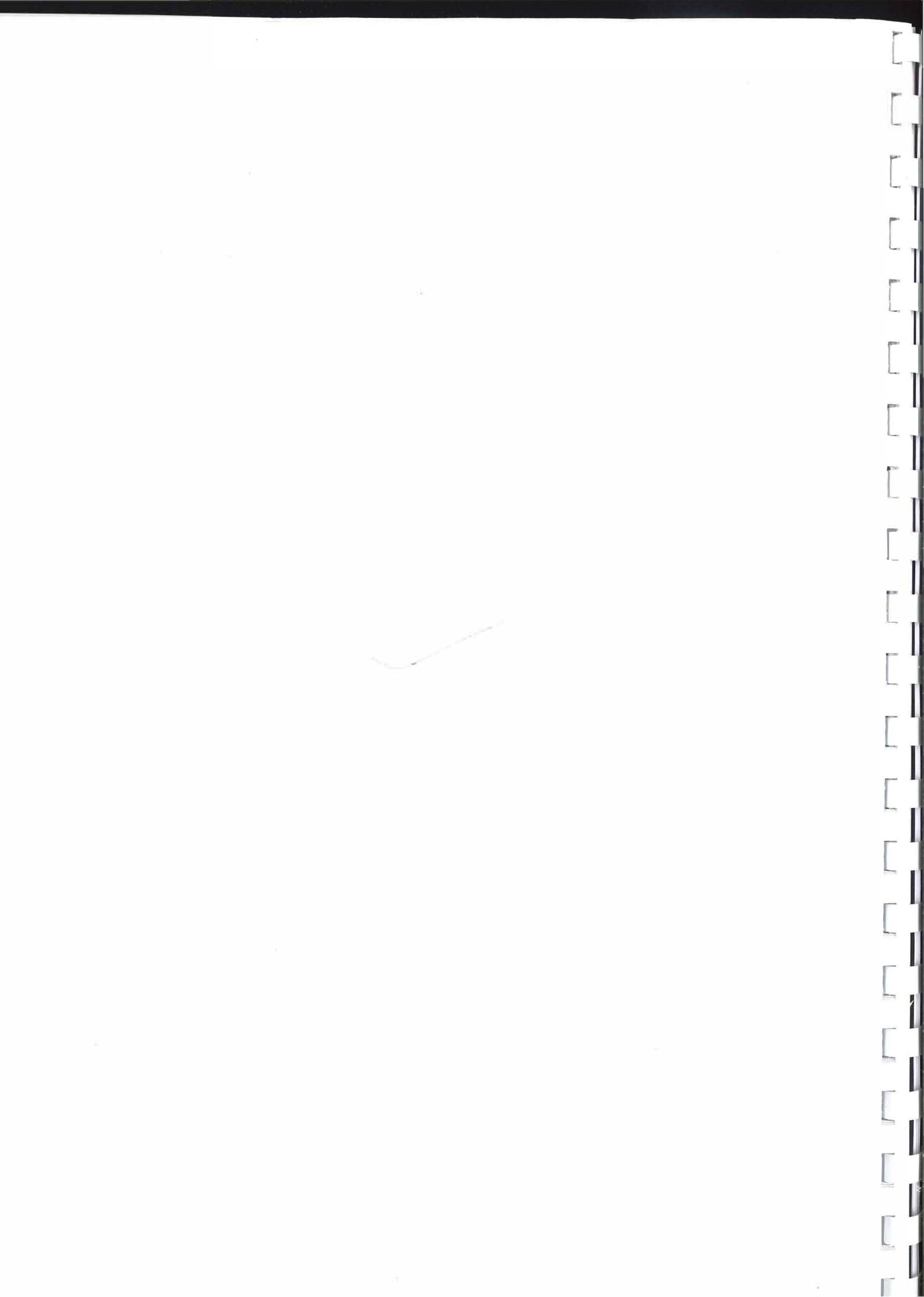
Illustration 5 : Principe d'un modèle "pluie-niveau-débit" à réponses impulsionnelles

Choix du pas de simulation

En règle générale, afin de gagner en temps de calcul, le pas de temps utilisé pour la modélisation avec le logiciel TEMPO est de 10 jours. Ce pas d'échantillonnage est bien adapté au temps de régulation des phénomènes observables au cours des différents cycles annuels notamment pour l'analyse des étiages qui sont des phénomènes longs. Les données d'entrée sont toutefois au pas journalier.

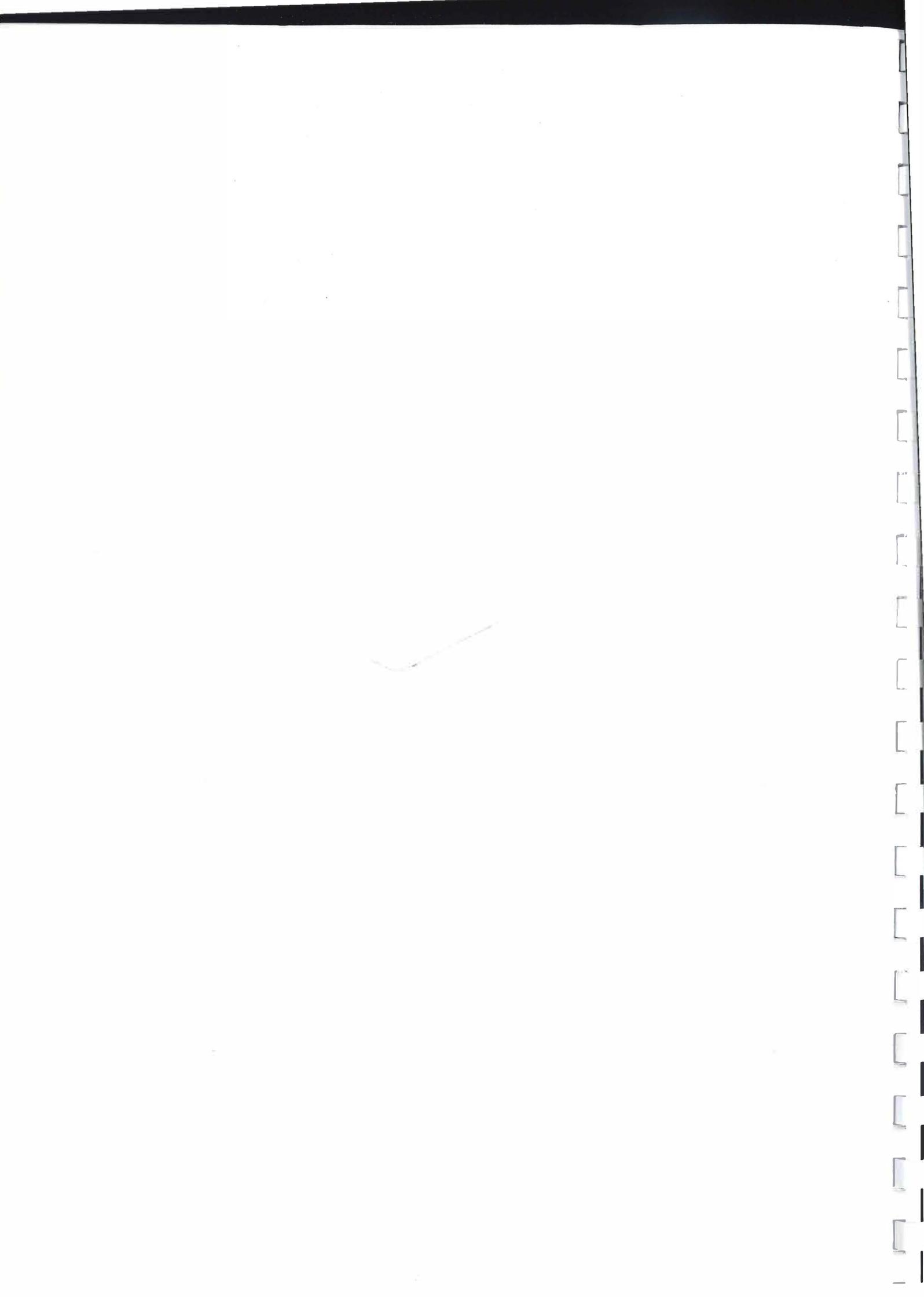
Le travail demandé ici est l'analyse de phénomènes courts, qui peuvent être relativement brefs : le pas de 10 jours se révèle donc insuffisant pour la décomposition des différents phénomènes générateurs de crue et pour définir leur temps de transfert.

C'est donc un pas de calcul journalier pour ce travail de modélisation qui a été choisi. Par ailleurs, le travail a été orienté vers l'analyse des périodes de hautes eaux (à la différence des travaux réalisés antérieurement pour la gestion des étiages) et de la composante rapide.



Annexe 3

Le logiciel GARDENIA



Présentation du modèle GARDÉNIA

GARDÉNIA (modèle Global À Réservoirs pour la simulation des DÉbits et des Niveaux Aquifères) est un modèle hydrologique global de bassins versants (Thiéry D, 2003). Il en réalise le bilan hydrologique à partir d'une chronique, représentative à l'échelle du bassin, de pluies et d'évapotranspiration potentielle (ETP). Une fois calé sur les observations disponibles, il permet de calculer le débit à l'exutoire et/ou le niveau piézométrique en un point de la nappe sous-jacente.

Comme explicité sur l'illustration 1, GARDÉNIA simule les principaux mécanismes du cycle de l'eau dans un bassin versant (pluie, évapotranspiration, infiltration, ruissellement) par une succession de réservoirs en cascade qui représentent respectivement :

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

L'allure exponentielle du tarissement des débits des rivières et des niveaux des nappes souterraines rappelle celle de la vidange d'un réservoir. Le comportement d'un système aquifère est donc représenté par un ensemble de réservoirs se vidant les uns dans les autres. Des fonctions de transfert non linéaires permettent cependant d'adapter cette approximation un peu schématique.

Le modèle GARDÉNIA comprend au maximum quatre réservoirs ; cependant, les modèles réalisés pour cette étude n'en font intervenir que 3.

Le modèle réalise un bilan entre les apports (précipitations) et les sorties (écoulements ou évapotranspiration) pour chacun des pas de calcul.

Des prélèvements ou des injections ou encore des échanges (pertes ou apports) de débits peuvent être fournis en tant que données d'entrée :

- soit sous la forme d'un fichier unique au même pas de temps que les données de base (pluie et ETP),
- soit par une valeur constante.

Les apports sont indiqués en signe positif, les pertes en négatif.

Les transferts d'un réservoir à l'autre sont régis par des lois simples qui sont particulières à chaque réservoir ; ces lois sont contrôlées par les paramètres des modèles (réserve utile, temps de transfert, seuils de débordement, etc.).

Une procédure de calage automatique particulièrement robuste (algorithme de Rosenbrook, 1960) permet d'estimer le jeu de paramètres assurant la meilleure restitution des débits et/ou niveaux mesurés.

Le modèle, une fois calé, est en mesure de simuler au choix :

- des débits,
- des niveaux piézométriques,
- ou les deux simultanément.

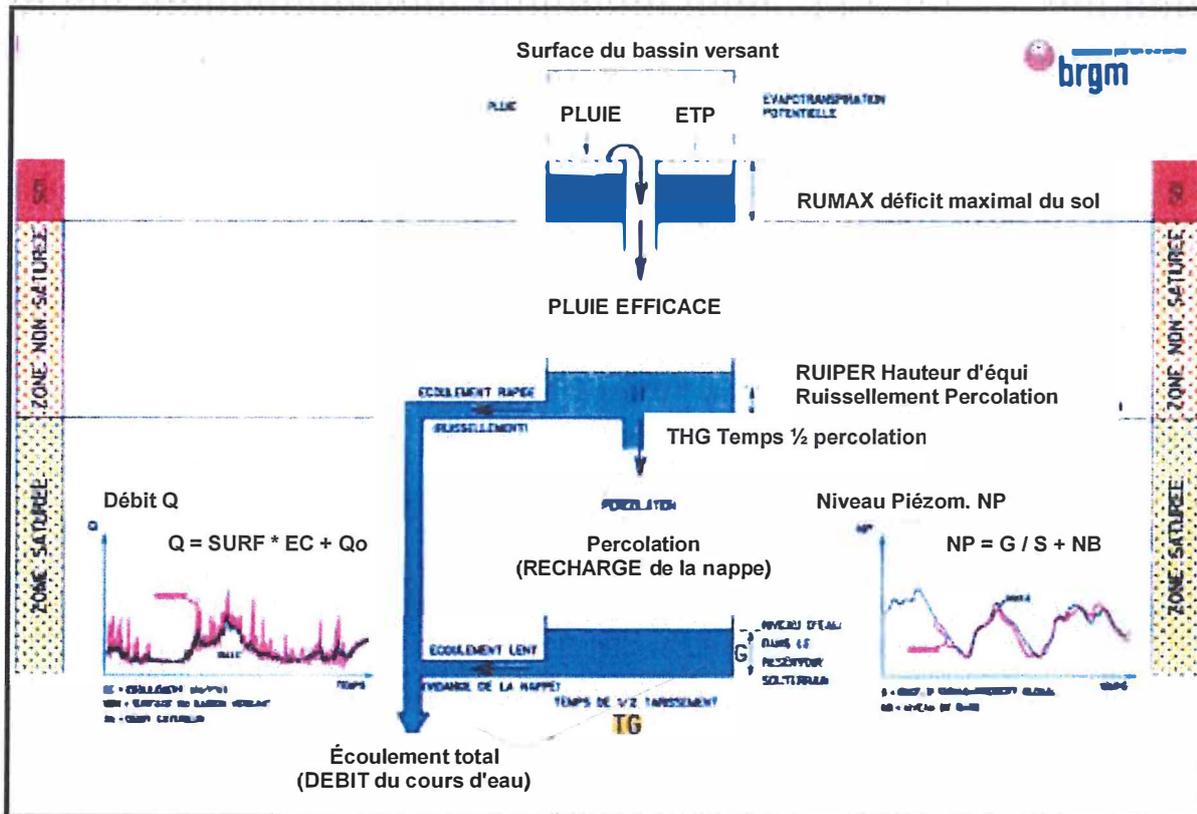


Illustration 1 : schéma de fonctionnement du modèle GARDENIA

Initialisation

La période d'initialisation (non utilisée pour le calage) dépend de l'inertie du système hydrologique ; plus le système a de la « mémoire » plus la période doit être longue.

Pour les différentes modélisations réalisées, la période d'initialisation prise en compte est au minimum de 10 années, voire 20 années lorsque les prélèvements ont été intégrés aux modélisations car leurs données ne sont disponibles qu'à partir de 1994.

Par ailleurs, avant la série d'initialisation, le modèle est placé en équilibre hydrologique en début de calcul, c'est-à-dire que le niveau piézométrique correspond à la pluie efficace entrante.

Calage

Généralités

Le calage consiste à ajuster les paramètres du modèle, de telle sorte qu'ils permettent de calculer des niveaux piézométriques et/ ou des débits aussi proches que possible des valeurs observées.

Les données nécessaires au calage sont :

- des séries ininterrompues d'« entrées » du modèle : pluie et évapotranspiration ;
- une série d'observations, chroniques piézométriques et/ou chroniques de débits, non nécessairement continues, mais pour une période concomitante aux séries précédentes. Cette série sera comparée avec la « sortie » du modèle.

Le calage se fait par une méthode d'ajustement semi-automatique à partir d'un jeu de paramètres initiaux. Certains paramètres peuvent ou non être optimisés. Le modèle fait varier ces paramètres (dans une gamme de valeurs définies) et recherche, par un algorithme d'optimisation non-linéaire adapté de la méthode de Rosenbrock (1960), un jeu fournissant les résultats les plus proches possibles de la série d'observations.

Le modèle fournit :

- des bilans des différentes composantes de l'écoulement (évapotranspiration réelle, infiltration, écoulement...),
- une représentation graphique permettant de comparer observations et simulations,
- des critères numériques d'évaluation de la qualité de l'ajustement.

Lorsqu'à la fois les critères numériques d'ajustement et les graphiques de comparaison visuelle sont satisfaisants, on peut considérer que l'on dispose d'un jeu de paramètres représentatif du bassin dans la mesure où les valeurs des paramètres obtenues sont hydrologiquement réalistes.

Paramètres hydrologiques du modèle

Les paramètres hydrologiques du modèle sont au nombre de dix.

Six paramètres dimensionnels caractérisent les différents réservoirs :

- capacité du réservoir RU (mm), ou « réserve disponible pour l'évapotranspiration »,
- Temps de demi-montée des 2 réservoirs (mois), THG et THG12,
- RUI/PERC (mm) hauteur dans le réservoir H pour laquelle il y a répartition égale entre écoulement rapide et percolation,
- Temps de demi-tarissement des 2 réservoirs (mois) TG1 et TG2.

Deux coefficients correctifs sont destinés à prendre en compte l'éventuelle non-représentativité des entrées telles qu'elles ont pu être estimées vis-à-vis des conditions météorologiques qui agissent réellement sur le bassin versant. Il s'agit :

- d'un coefficient de correction de la lame d'eau chargé de compenser une mauvaise représentativité des données pluviométriques issues des observations faites sur des stations dispersées ;
- d'un coefficient de correction d'ETP, dont le but est similaire.

En outre, deux autres paramètres peuvent être optimisés par calage du modèle :

- le coefficient d'emmagasinement « équivalent » ;
- et le niveau de base local.

Données d'entrée

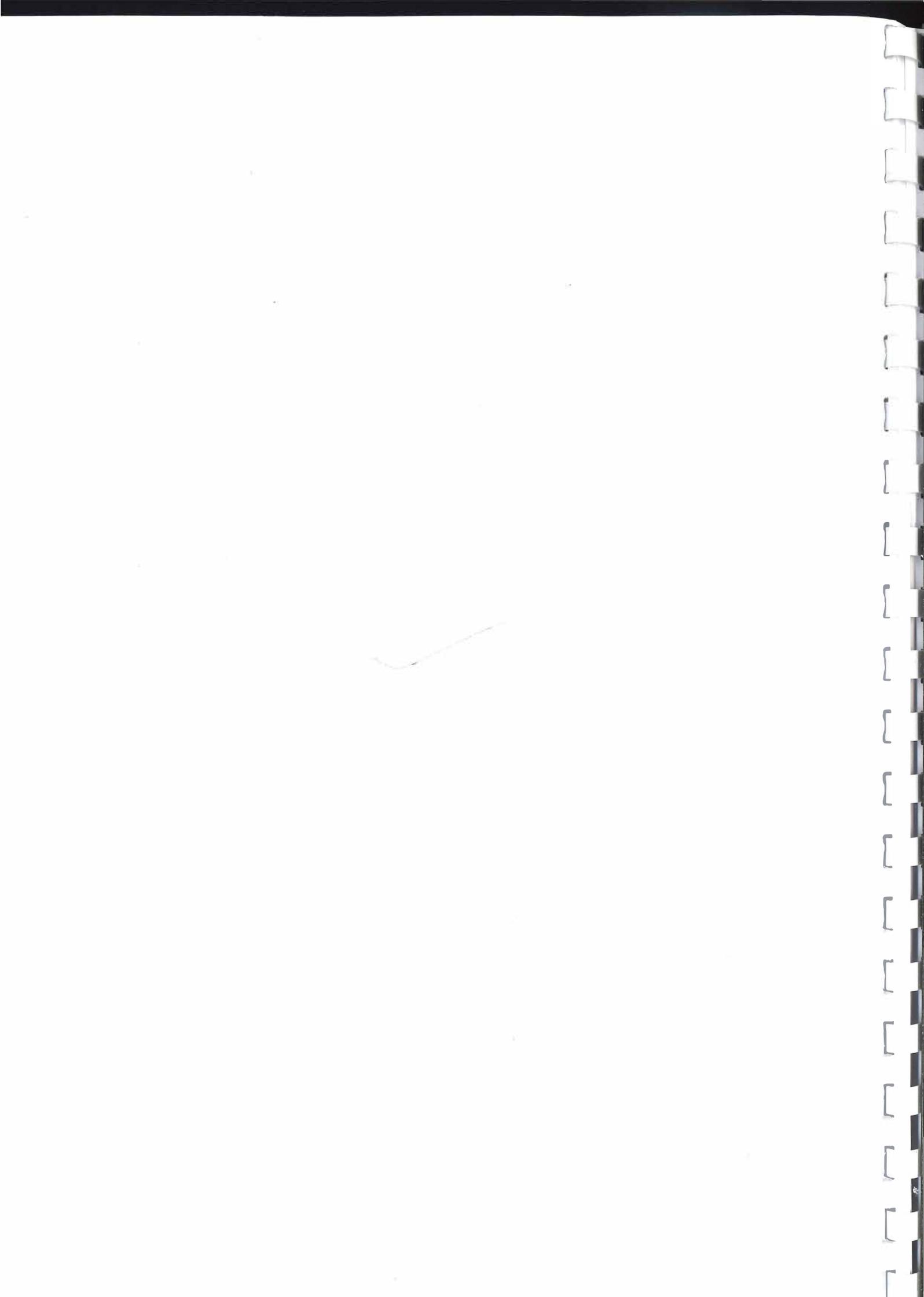
Les données d'entrée sont les précipitations, l'évapotranspiration potentielle et les prélèvements.

Données et période de calage

Les données de calages sont de deux types : les niveaux piézométriques et les données de débit.

Annexe 4

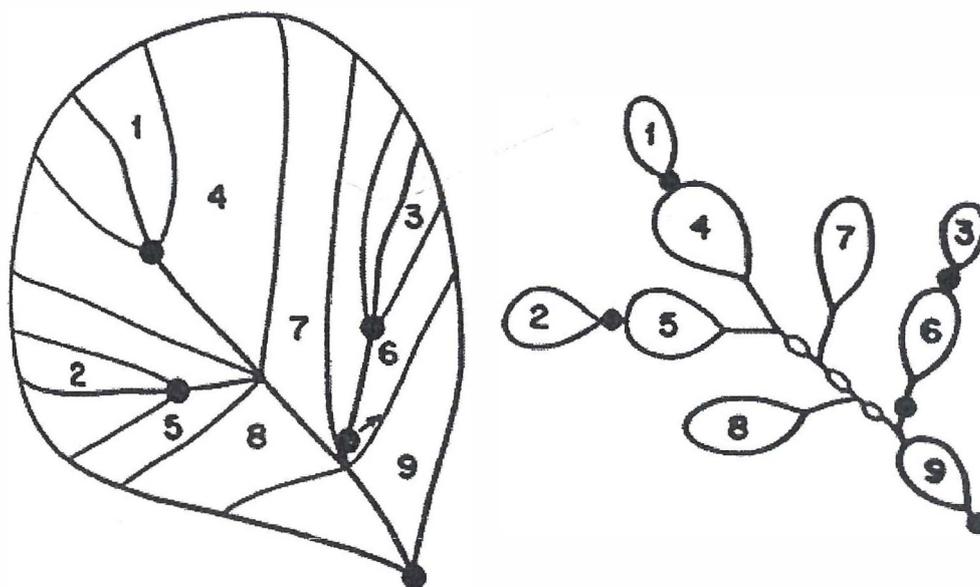
Le logiciel EROS



Présentation de ÉROS

Le code de calcul ÉROS (Ensemble de Rivières Organisées en Sous bassins) est un modèle hydrologique global pluie - débit spatialisé dédié à la simulation de grands bassins. Il permet la modélisation des débits de bassins versants hétérogènes (différences de pluviométrie et d'ETP, d'occupation du sol, de taux de ruissellement et donc d'infiltration, de débits d'échanges, etc.) par une grappe de modèles hydrologiques globaux emboîtés modélisant chacun un sous bassin versant. La zone d'étude est décomposée en un certain nombre de sous bassins composant une grappe et reliés entre eux par une relation d'arborescence. On affecte à chaque sous bassin un numéro d'ordre et on définit pour chacun les bassins amont qui sont au nombre de 0 (sous bassin sans affluent), 1 (sous bassin en série) ou 2 (2 sous bassins affluents). ÉROS ne peut pas simuler plusieurs grappes à la fois. Il doit donc y avoir un exutoire unique.

La figure ci-dessous présente un exemple synthétique de bassin formé de 9 sous bassins (numérotés de 1 à 9). La partie gauche est un plan du bassin versant et la partie droite montre l'arborescence correspondante. On dispose de 5 points d'observations : à l'exutoire des sous bassins n° 1, 2, 3, 6 et 9. On remarque que 3 bassins fictifs supplémentaires ont été introduits : en aval du sous bassin 7 et en aval du sous bassin 8. Ces sous bassins fictifs (de superficie égale à zéro, appelés "points de jonction") ont été introduits pour respecter la règle selon laquelle un sous bassin ne peut avoir que 2 sous bassins directement en amont.



Exemple d'application d'un bassin complexe décomposé en 9 sous bassins

Chaque sous bassin est schématisé par un modèle hydrologique global avec ses paramètres propres. Le débit calculé à l'exutoire des sous bassins amont arrive directement dans le sous bassin aval et chaque exutoire peut être :

- un point d'observation : on y dispose d'une chronique de débits d'observation ;
- un point d'édition : on ne connaît pas le débit mais on veut le déterminer ;

- un point intermédiaire.

Dans ÉROS V.4.0., le transfert des débits entre les sous bassins se fait instantanément avec un temps de transfert nul.

Pour représenter le fonctionnement hydrologique global de chaque sous bassin, on dispose dans le code ÉROS de deux possibilités :

- le schéma GARDÉNIA (Thiéry 1988, 2003, 2004c) ;
- et le schéma GR4 du CEMAGREF (Edijatno et Michel, 1989).

Le code de calcul qui fonctionne au pas de temps journalier, pentadaire (5 jours), décadaire ou mensuel met en œuvre dans chaque sous bassin un schéma hydrologique GARDÉNIA (Roche et Thiéry 1984, Thiéry 1988, 2003 et 2004) ou GR4 du CEMAGREF (Edijatno et Michel 1989) qui réalise une séparation non linéaire entre ruissellement et infiltration. Les transferts d'eau d'un réservoir à l'autre sont régis par des lois simples, qui sont particulières à chaque réservoir ; ces lois sont contrôlées par les paramètres des modèles (réserve utile, temps de transferts, seuils de débordement, coefficient de ruissellement, etc.).

Ces paramètres ne peuvent pas être déduits a priori des caractéristiques physiographiques ponctuelles du bassin versant (géologie, hydrogéologie, couvert végétal, etc.) mais doivent être évalués par ajustement (calage) sur une série d'observations. Le calage (ou calibration) consiste à ajuster les paramètres du modèle de telle sorte qu'ils permettent de calculer des débits aussi proches que possible des débits observés. Le calage est effectué automatiquement par une procédure d'optimisation non linéaire dérivée de la méthode de Rosenbrock qui maximise la somme des coefficients de détermination entre les débits calculés et observés en chaque point d'observation.

Chaque bassin élémentaire peut avoir des paramètres et des séries climatiques (pluie et évapotranspiration) qui lui sont propres et il est possible d'attribuer à chacun des prélèvements ou des apports existants ou prévus en rivière ou en nappe. Ainsi ce modèle permet de prendre en compte l'hétérogénéité du bassin versant en terme climatique (Pluie et ETP), de fonctionnement hydraulique (répartition entre le ruissellement superficiel et l'infiltration vers les aquifères, contribution des aquifères aux débits des rivières) et de débits d'échange (débits de fuite souterrain et/ou de prélèvements ou apports naturels ou anthropiques).

Le code ÉROS permet de prendre en compte l'impact d'aménagements tels que des barrages, des retenues, des dérivations, etc. Il est également possible de calculer automatiquement, par régression bornée ("Ridge Regression") la superficie optimale de chaque sous bassin c'est à dire en particulier le coefficient optimal pour chaque poste pluviométrique.

Ce modèle est à mi-chemin entre un modèle global et un modèle maillé qui autorise la modélisation d'un système complexe par exemple à l'échelle régionale. Le code de calcul ÉROS permet d'une part de modéliser des bassins versants hétérogènes et d'autre part de prévoir l'influence d'aménagements hydrauliques (barrages, dérivations, prélèvements, etc.).

Une fois calé, le modèle ÉROS peut être utilisé en simulation :

- pour une extension de données ;
- pour une simulation de scénarios ;

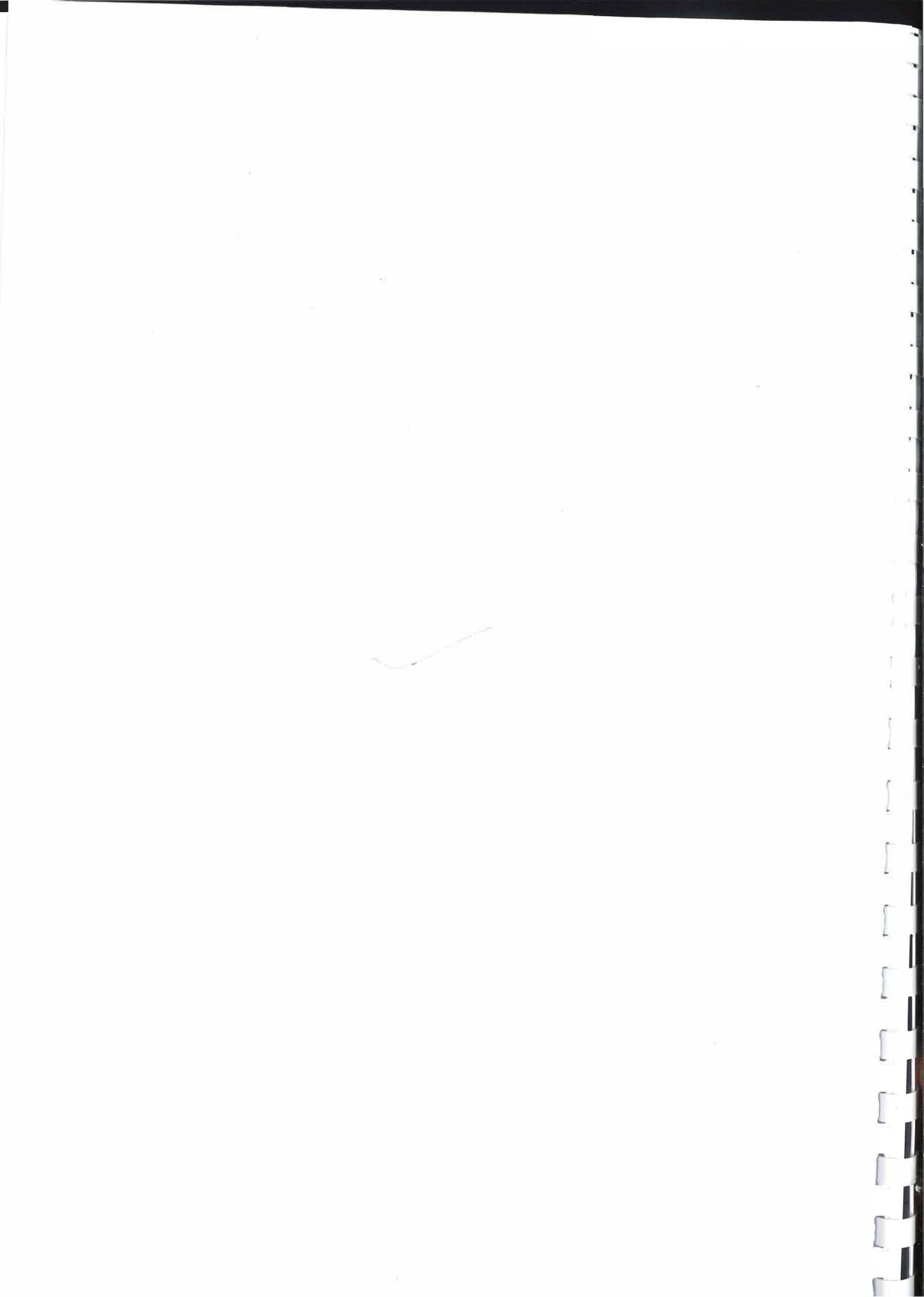
- et, comme pour GARDÉNIA, pour l'émission de prévisions. Il est ainsi possible de prolonger une série de débits observés jusqu'à une certaine date à partir de scénarios de précipitations prévisionnels pour les semaines ou mois futurs notamment en étiage. Cependant, ÉROS V.4.0 ayant une structure plus complexe met en œuvre un schéma de prévision moins élaboré que celui de GARDÉNIA.

Comme pour GARDÉNIA, le calage est automatique. Le nombre de paramètres par bassin élémentaire est relativement faible ce qui lui confère une certaine simplicité et robustesse. Il offre la possibilité d'égaliser des paramètres de deux (voire plus) bassins élémentaires ce qui permet de réduire le nombre total de paramètres : une fonctionnalité bien utile lorsque le nombre de sous bassins à simuler est élevé.

Les étapes de la modélisation

La mise en œuvre du code de calcul ÉROS comporte les étapes suivantes :

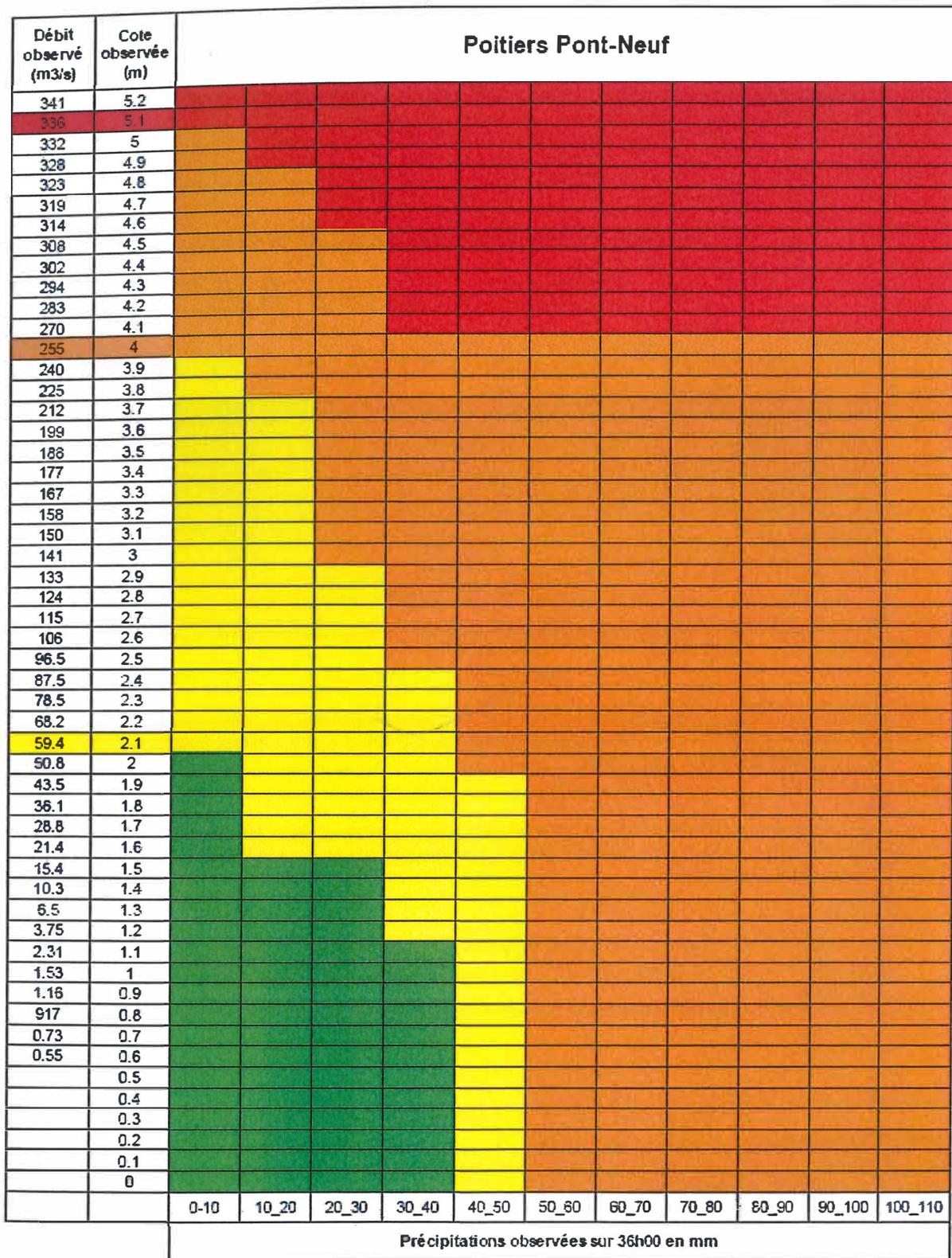
- Analyse du système hydrologique et hydrogéologique étudié, des données hydro climatologiques et des débits d'échange naturels et/ou anthropiques.
- Conception du modèle ÉROS : découpage en sous bassins composant une grappe et reliés entre eux par une relation d'une arborescence.
- Élaboration des fichiers de données : pluie, évapotranspiration, débits à l'exutoire et débits d'échange au pas de temps choisi pour la modélisation.
- Calage du modèle. Il consiste à ajuster tous les paramètres inconnus pour reproduire au mieux tous les débits observés en tous les points d'observation, en utilisant une procédure d'optimisation non linéaire.
- Exploitation du modèle pour une simulation de données, pour une simulation de scénarios et/ou pour l'émission de prévisions.



Annexe 5

Seuils de vigilance définis par la DREAL





JAUNE, ORANGE ou ROUGE

Tronçon : CLAIN

**Règles d'utilisation et spécificités de la grille
d'aide à la décision pour le tronçon : CLAIN**

L'analyse vigilance se fait non pas avec les pluies prévues dans le bulletin de précipitation mais avec les pluies tombées lors des dernières 36 heures, sans tenir compte du fait que cela soit le même événement pluvieux.

Les pluies du jour nous donnent une information sur le fait que les niveaux risquent de continuer à monter sur le Clain.

Le Clain est une rivière qui **réagit plus lentement que les autres**, mais les seuils sont le plus souvent dépassés **dans les 24 à 36 heures** qui suivent la fin de l'évènement pluvieux.

La décision de changer de couleur **ne doit pas être retardée** du fait de cette dynamique plus lente, quitte à augmenter l'échéance de la vigilance lors de l'envoi du bulletin.

NB : Les pluies tombées correspondent à la moyenne des postes suivant :

80021002 - BENASSAY

86078002 - CIVRAY

86097001 - LA FERRIERE AIROUX_SAPC

86027001 - POITIERS-BIARD

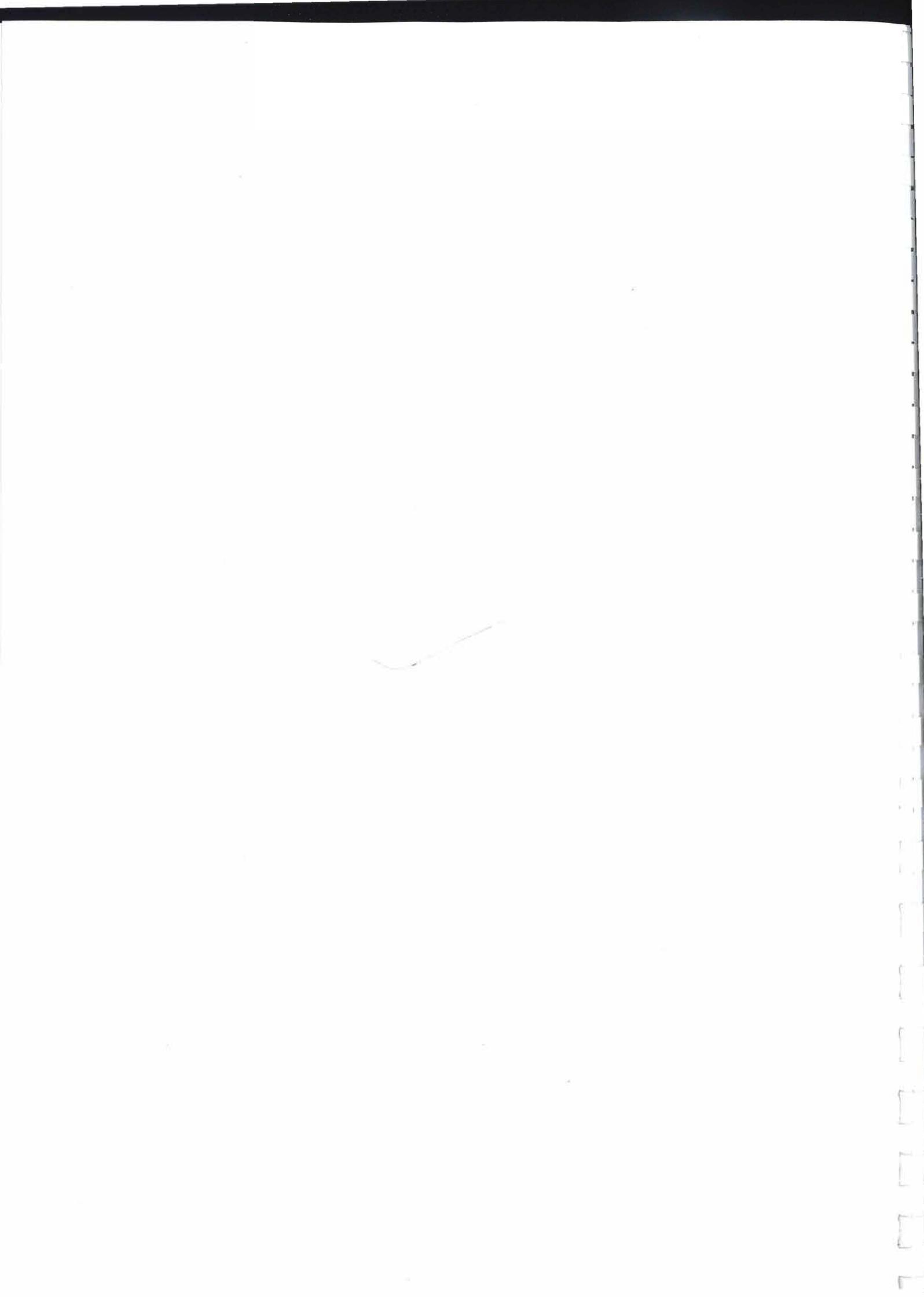
86294003 - VOUILLE

**Historique des mises en vigilance jaune du Clain sur la période 2006 / 2012
(Seuil jaune : 2,10 m soit 60 m³/s à Poitiers Pont-Neuf)**

Début vigilance			Fin vigilance	
Jour / Heure Passage en vigilance jaune	Hauteur (m)	Pluie tombée sur les dernières 36 heures (mm)	Jour / Heure Lever de la vigilance jaune	Hauteur (mm)
05/03/06 16:00	2.19	21	10/03/06 16:00	2.09
25/03/06 10:00	1.85	10	26/03/06 10:00	2.02
07/12/06 10:00	1.72	17	11/12/06 16:00	2.16
11/02/07 10:00	1.93	21	14/02/07 16:00	2.41
15/02/07 10:00	2.21	0	16/02/07 10:00	2.03
24/02/07 10:00	1.81	23	12/03/07 10:00	2.04
23/01/09 10:00	1.65	10	28/01/09 16:00	2.03
01/01/10 10:00	1.94	13	02/01/10 16:00	2.08
03/04/10 16:00	1.63	17	04/04/10 16:00	1.85
07/12/10 16:00	1.71	10	08/12/10 10:00	1.30
21/12/10 10:00	2.01	20	25/12/10 10:00	1.99
16/12/11 10:00	1.87	51	20/12/11 16:00	1.99
28/04/12 16:00	1.55	44	03/05/12 10:00	2.06
14/10/12 16:00	1.33	40	15/10/12 10:00	1.34
20/10/12 16:00	1.51	34	21/10/12 16:00	1.66
03/11/12 10:00	1.60	21	07/11/12 10:00	2.04
15/12/12 16:00	1.71	26	21/12/12 16:00	2.09

Les données de ce tableau sont issues de l'historique de relevé journalier du SPC Vienne-Thouet.

Les hauteurs ont été relevées à 7h00 pour le bulletin de 10h00 et 13h00 pour celui de 16h00.



Annexe 6

Fiches des puits équipés avec un suivi piézométrique



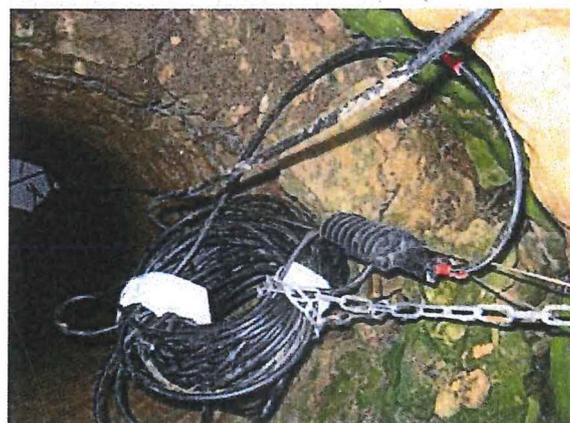
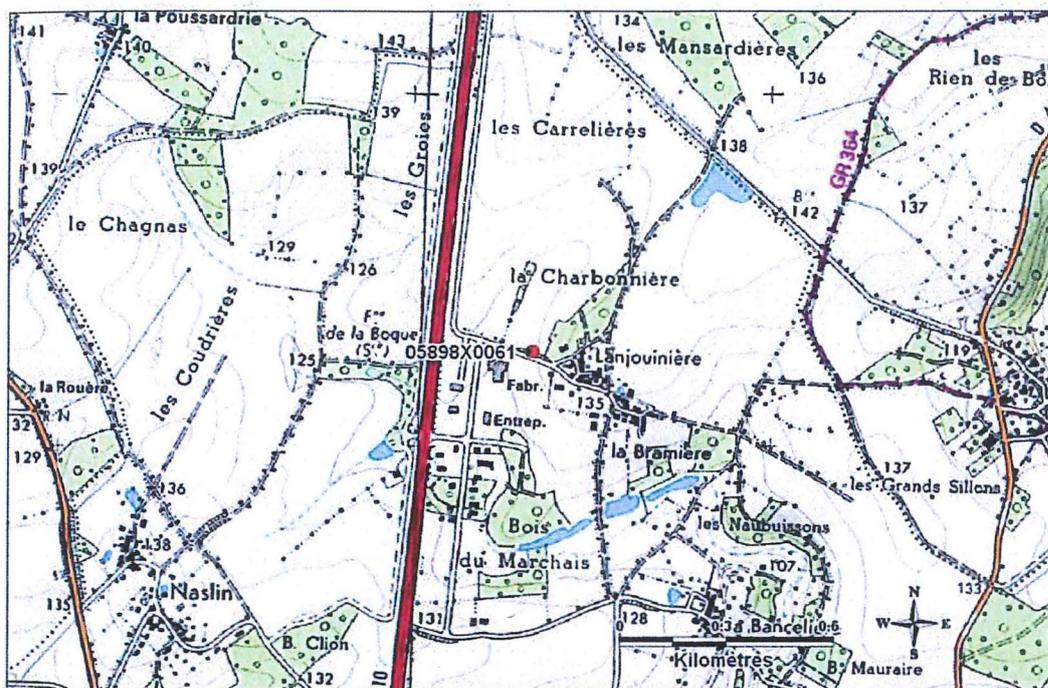
Puits privé – Charbonnière

Département : Vienne 86

Commune : Aslonnes

Lieu-dit : Charbonnière/Lanjouinière

N° BSS : 05898X0061



Coordonnées Lambert II étendues :

X = 441 330

Y = 2 164 260 m

Z = 135 m NGF

Profondeur : 11.26 m

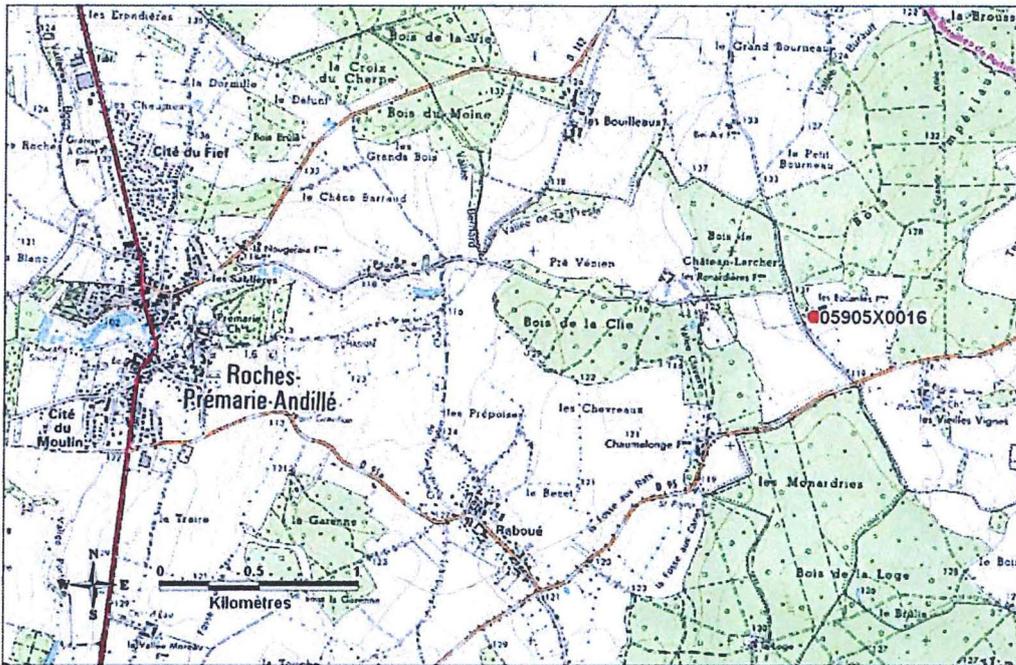
Type de sonde : Madofil II 2 Bar/ 50 m

Marque : IRIS INSTRUMENTS

Profondeur : 10 m

Puits privé – Les Bocantes

Département : Vienne 86
Commune : Nouaillé Maupertuis
Lieu-dit : Les Bocantes
N° BSS : 05905X0016



Coordonnées Lambert II étendues :

X = 452 406 m
Y = 2 166 649 m
Z = 129 m NGF

Profondeur : 22.48 m

Type de sonde : Madofil II 2 Bar/ 50 m
Marque : IRIS INSTRUMENTS
Profondeur : 21.84 m



Géosciences pour une Terre durable

brgm

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

BRGM Poitou-Charentes
5 rue de la Goélette

86280 – Saint-Benoit - France
Tél. : 05 49 38 15 38