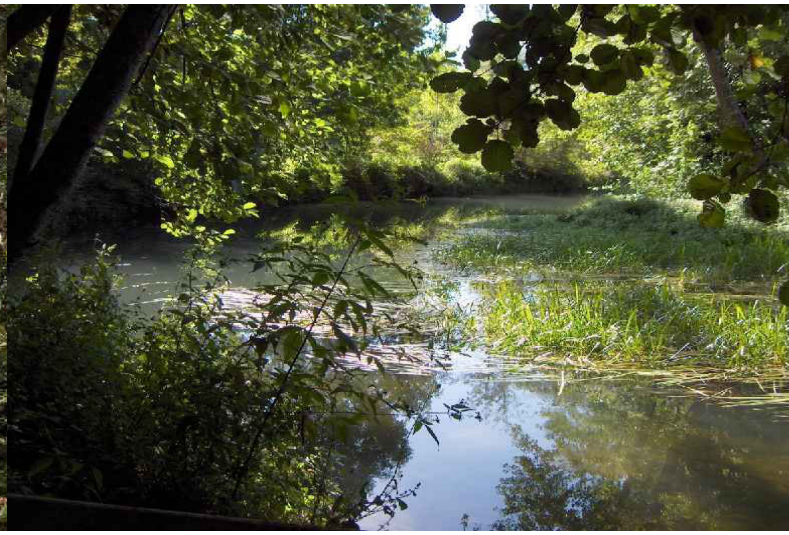
EPTB *Charente*

Institution interdépartementale pour l'aménagement du fleuve Charente et de ses affluents

Eaucéa
Conseil • Études • Aménagement

Etude hydrologique du Bassin Versant de l'Antenne

Analyse, Modélisation et Développement d'outils de gestion



Octobre 2007

Octobre 2007

Table des matières

Abréviations et sigles utilisés 1
Introduction 2
1 Caractérisation physique du bassin versant de l'Antenne. 3
1.1 Géologie du bassin versant de l'Antenne 4
1.2 Synthèse sur les nappes présentes sur le bassin versant 7
1.3 Synthèse pédologique 10
1.4 L'Antenne et ses affluents : caractéristiques 12
2 Le ruissellement sur le bassin versant de l'Antenne. 13
2.1 Synthèse des observations de terrain 13
2.2 L'occupation des sols par l'agriculture. 14
2.3 Campagne d'évaluation de la capacité d'infiltration des sols. 17
2.4 Le rôle des haies dans la régulation des flux d'eau 20
2.5 Modèle hydrologique de ruissellement: STREAM 21
2.6 Conclusion sur l'étude du ruissellement de surface sur l'Antenne. 21
3 modélisations hydrologiques du bassin versant de l'Antenne. 22
3.1 Le modèle GR4J 22
3.2 Le modèle CycleauPE 24
3.3 Problèmes liés aux données 27
3.3.1 Les précipitations 27
3.3.2 Les chroniques de débits 28
3.4 Résultats des modélisations 29
3.4.1 GR4J 29
3.4.2 CycleauPE 30
3.4.3 Comparaison des modélisations issues des deux modèles 31
3.5 Synthèse sur le recours aux modélisations 32
4 Etude des systèmes aquifères 33
4.1 Suivi des nappes : 33
4.2 Le tarissement 36
4.3 Mise en relation Assecs-niveau piézométrique 38
4.4 La piézométrie, un outil de prévision et de gestion 42
4.4.1 Méthodologie 42
4.4.2 Mise en relation du remplissage du réservoir P du modèle CycleauPE, avec les niveaux piézométriques de Ballans et de Juillers 46
4.5 Estimation des volumes d'eau stockables dans les nappes 47
4.5.1 Objectif 47
4.5.2 Bilan des volumes sortant 47
4.5.3 Variation de la piézométrie générale 48
4.5.4 Estimation de la porosité moyenne 49
4.5.5 Bilan sur l'étude des systèmes aquifères du bassin de l'Antenne. 50
Conclusion 51
Bibliographie 52
Annexe 54
Annexe 1 : Fiches pédologiques 55
Annexe 2: Etude du ruissellement à l'aide du modèle STREAM 64
Annexe 3 : Le modèle GR4J' 72
Annexe 4 : Présentation des longueurs d'assecs en fonction de la piézométrie. 76

Table des illustrations

Figure 1 : Situation Géographique du bassin versant étudié. 3
Figure 2: Carte géologique du bassin versant de l'Antenne. 5
Figure 3: Morphologie du bassin versant de l'Antenne 8
Figure 4: Carte pédologique. 11
Figure 5: Profil en long de l'Antenne 12
Figure 6: Evolution des surfaces cultivées 14
Figure 7: Evolution des surfaces de prairie 15
Figure 8: Carte de l'occupation du sol. 16
Figure 9 : Carte des points de mesures effectués. 18
Figure 10 : conductivité hydraulique des groie de Grès. 19
Figure 11 : conductivité hydraulique des Doucins limoneux. 19
Figure 12 : conductivité hydraulique des groies moyennement profondes 19
Figure 13 : conductivité hydraulique des Terres lourdes du Pays Bas. 19
Figure 14 : Schéma du modèle hydrologique GR4J. 23
Figure 15 : Schéma de fonctionnement du modèle CycleauPE. 25
Figure 16 : Graphique de comparaison des précipitations cumulées. 27
Figure 17 : Illustration des problèmes liés à la mesure et aux données de l'année 1986. 28
Figure 18 : Illustration des problèmes liés à la mesure de l'année 1979. 29
Figure 19 : Résultats du modèle GR4J. 29
Figure 20 : Détail de la contribution des différents réservoirs à l'écoulement. 30
Figure 21 : Comparaison des résultats des deux modèles pour l'année 1985. 31
Figure 22 : Lame d'eau radar des précipitations cumulées sur 24 heures sur le bassin Adour Garonne 32
Figure 23 : Niveaux piézométriques à Ballans et Juillers pour l'année 1998. 33
Figure 24 : Carte piézométrique. 34
Figure 25: Carte des profondeurs de nappe 34
Figure 26 : Niveaux piézométriques à Ballans et Juillers pour l'année 1996. 35
Figure 27 : Niveaux piézométriques à Ballans et Juillers pour l'année 2002. 35
Figure 28 : Ajustement logarithmique des niveaux piézométriques de Ballans. 36
Figure 29 : Visualisation du tarissement de la nappe en 2006 à Ballans. 37
Figure 30 : Illustration de la baisse des niveaux piézométriques au delà des seuils d'alerte de restriction horaire (1 & 2) et total (3). 38
Figure 31 : Relations entre la piézométrie, la pluviométrie et la longueur d'assecs en 2005. 39
Figure 32 : Relation entre la piézométrie, la pluviométrie et la longueur d'assec en 2006 39
Figure 33 : Présentation des longueurs d'assecs en fonction de la piézométrie. 40
Figure 34 : Carte des cours d'eau asséchés en septembre 2005. 41
Figure 35 : Approche du tarissement par la loi de Maillet en 2001. 43
Figure 36 : Exemple des prévisions réalisables à l'aide de la loi de Maillet. 44
Figure 37 : Prévisions pour l'année 2007. 45
Figure 38 : Comparaison de la piézométrie et des hauteurs d'eau dans le réservoir P en 1998. 46
Figure 39: Valeurs statistiques de précipitation 67

Table des Tableaux

Tableau 1: Log stratigraphique des formation de l'Antenne 6
Tableau 2: Récapitulatif des différents réservoirs 7
Tableau 3: Pédologie des sols du bassin de l'Antenne 10
Tableau 4: Prévisions de franchissements des seuils pour l'année 2007. 45
Tableau 5 : Incertitudes liées à la prévision. 45
Tableau 6 : Volumes en fonction de la hauteur. 47

Abréviations et sigles utilisés

AEP : Adduction d'Eau Potable
Ar : Argile
BD : Base de Données
BRGM : Bureau de Recherches Géologiques et Minières
BV : Bassin Versant
CEMAGREF : Centre d'Etude du Machinisme Agricole et du Génie Rural des Eaux et des Forêts.
CEC : Capacité d'Echange des Cations
CycleauPE : Cycle de l'eau pour les Prévisions d'Etiage
EGID : Environnement, Géo-Ingéniérie et Développement
EPTB : Etablissement Public Territorial de Bassin
ETP : EvapoTranspiration Potentielle
HU1 : Hydrogrammes unitaires
INRA : Institut National de la Recherche Agronomique
K: Conductivité hydraulique en $m.s^{-1}$
Ks : Conductivité hydraulique en $m.s^{-1}$ à saturation
MO : Matière Organique
N : Réservoir non saturé
NGF : Nivellement Général de la France
Nmax : Capacité du réservoir non saturé
P : Réservoir profond saturé
Pperc : Percolation du réservoir sol
Q : Débit en m^3/s
Ql : Débit direct.
Qr : Débit ruisselé
RFU : Réserve Facilement Utilisable
RFUmax : Capacité du réservoir "RFU"
RFU : Réservoir « humidité »
RU : Réserve Utile
S : Réservoir superficiel
SIR : Système d'Information Régionale
SPC : Service de Prévision des Crues
Smax : Capacité du réservoir "sol"
STREAM: Sealing and Tranfer by runoff and Erosion in Relation with Agricultural Management
SYMBA : SYndicat Mixte du Bassin de l'Antenne.

Introduction

Le bassin versant de la Charente est soumis à des phénomènes de crues lentes de plaines, durables avec des secteurs urbains à risques justifiant l'élaboration d'un programme d'actions et de préventions des inondations sur le bassin du fleuve. Par ailleurs, une notion de solidarité amont-aval s'impose comme une nouvelle politique à mener et qui sous-entend une contribution de tous les acteurs du territoire.

Dans cet objectif de prévention, l'EPTB (Etablissement Public Territorial de Bassin) Charente a lancé une campagne de compréhension du fonctionnement hydrologique de l'ensemble des sous bassins constituant le bassin de la Charente. Il s'agit alors de cerner les caractéristiques physiques des bassins et les problématiques qui y sont associées et notamment celles liées à l'envasement constaté à l'embouchure du fleuve. Le but de ces actions est de permettre à moyen terme la mise en place d'aires de stockage ou de ralentissement dynamique réparties stratégiquement sur le bassin afin d'écrêter de manière significative les crues.

L'Antenne et son bassin versant ont donc été choisis comme site pilote pour de futurs aménagements. Les études préalables devaient porter initialement sur la modélisation des phénomènes de ruissellement et des transports solides sur ce sous bassin pilote en vue d'une généralisation sur l'ensemble du territoire concerné. L'aspect mineur que représentait ce phénomène devant la régulation exercée par le système aquifère a redirigé cette étude vers une modélisation hydrologique en lien avec les nappes.

Le premier volet de ce rapport présentera de manière détaillée tous les éléments caractérisant le bassin versant de l'Antenne. Dans une deuxième partie, les résultats des modélisations retranscrivant les phénomènes physiques observables sur l'Antenne seront exposés et analysés. Enfin, l'étude s'intéressera aux modélisations liées aux aquifères et à toutes les applications qui peuvent en être tirées quant à la prévision des écoulements, ainsi qu'à leur intérêt tant pour les gestionnaires de rivières que les gestionnaires agricoles.

1 CARACTERISATION PHYSIQUE DU BASSIN VERSANT DE L'ANTENNE.

Cette première partie présente une caractérisation physique du bassin versant de l'Antenne. Cette section correspond au travail de recherche établi dans l'objectif de compréhension du fonctionnement hydrologique ainsi que des problématiques sur lesquelles l'étude devra être approfondies.

Le bassin versant de l'Antenne est situé au Nord de Cognac, aux confins des départements de la Charente et Charente-Maritime. Il est situé sur le flanc Nord du bassin sédimentaire aquitain.

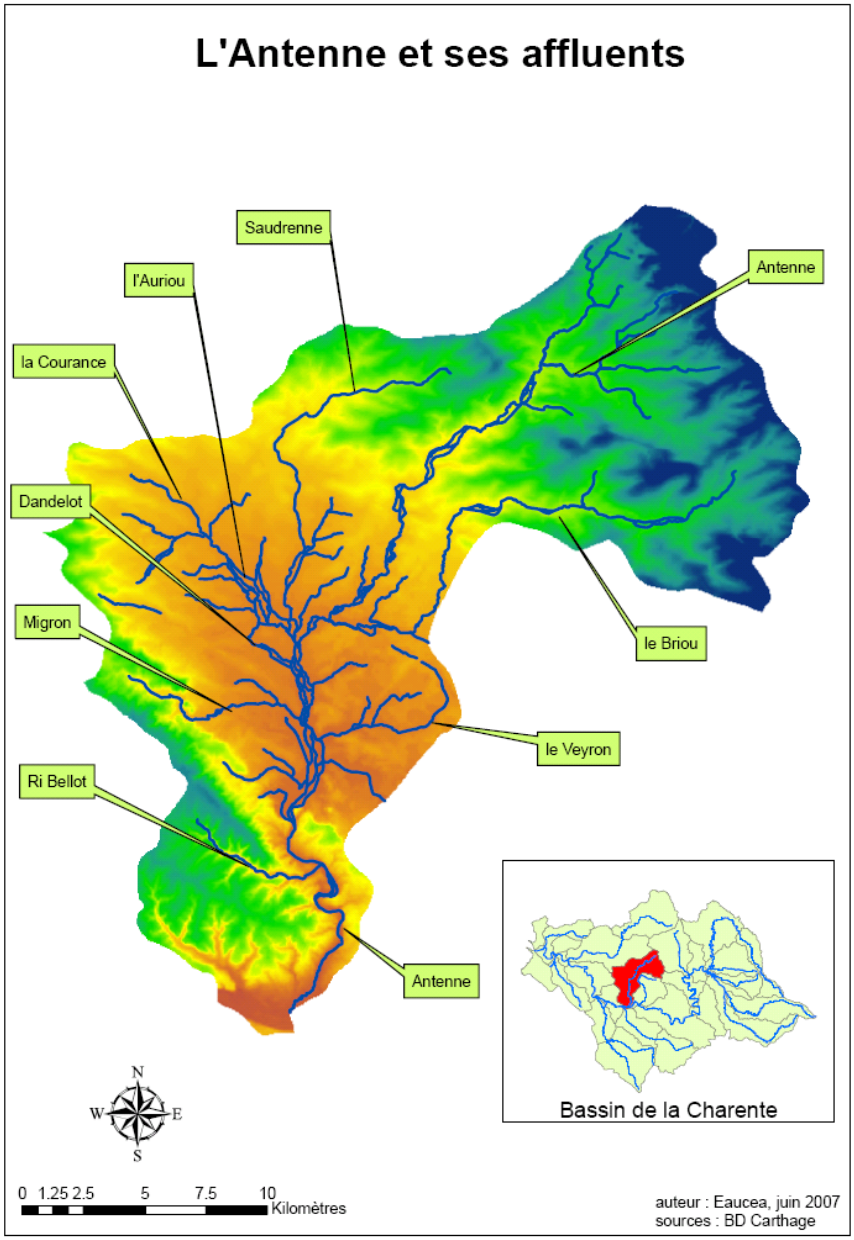


Figure 1 : Situation Géographique du bassin versant étudié.

1.1 Géologie du bassin versant de l'Antenne

D'un point de vue lithologique, les formations géologiques, constituant le sous-sol, sont pour l'essentiel des dépôts calcaires et marneux d'origine marine datant de l'ère secondaire (cf. annexe 1). D'un point de vue stratigraphique, les différentes couches géologiques sont organisées en séries normales c'est-à-dire que l'ordre de superposition des couches correspond à celui de leurs dépôts ou encore les plus anciennes sous les plus récentes. La série est également monoclinale c'est à dire que les dépôts se succèdent avec une inclinaison régulière de 1 à 6° vers le Sud-Ouest.

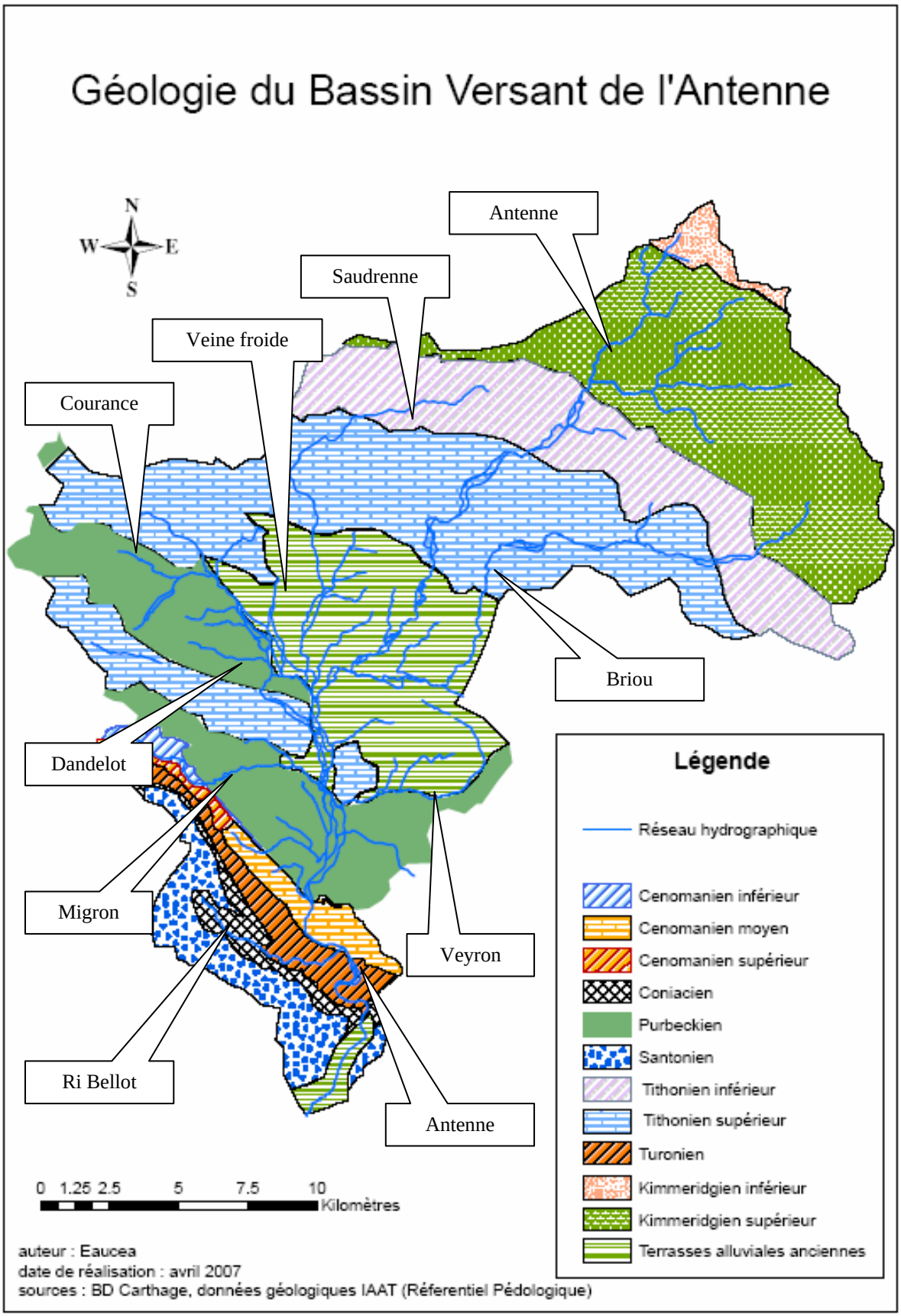


Figure 2: Carte géologique du bassin versant de l'Antenne.

Période	Etage	Lithologie	Aquifères
Quaternaire	Alluvions modernes	Sol argileux noir avec graviers de calcaires recouvrant un ensemble d'argile blanche + graviers calcaires (0.5 à 2 m d'épaisseur)	Nappe d'accompagne -ment
?	Alluvions anciennes	Sables, graviers de calcaires blancs, graviers fluviatiles (0.5 à 6 m d'épaisseur)	
Crétacé supérieur	Santonien	Sédimentation calcareo-marneuse	Santonien
	Coniacien	Base gréseuse puis niveaux de plus en plus calcaires marneux (2m)	Turono-cognacien
	Turonien	Calcaires bioclastiques, gréseux	
	Cénomanien supérieur	Sédimentation plus marneuse, argileuse voire sableuse (12 m)	Cénomanien
	Cénomanien moyen	Sables calcareux et moins détritiques (20 m)	
	Cénomanien inférieur	Niveaux argilo sableux (30 m)	
Jurassique supérieur	Purbeckien	Formation argilo marneuse, évaporitique, lentilles de gypse (variable)	Nappes perchées
	Tithonien moyen et supérieur	Calcaires laminés avec de petites vacuoles Passées marneuses et argileuses Calcaires fins à passées graveleuses	Tithonien-Kimméridgien supérieur
	Tithonien inférieur	Calcaires marneux à lamellibranches Calcaires oolithiques et bioclastiques avec des passées sableuses et argileuses (31 m)	
Le Tithonien se caractérise dans la région par une forte variabilité verticale et latérale de faciès lithologiques du fait de la grande variation de contextes sédimentaires qui prévalaient à cette époque (Dominante calcaire et argileuse). Dans ces faciès répartis de manière aléatoire, on peut rencontrer des argiles gypsifères totalement étanches tout comme des calcaires fissurés très productifs voire karstiques.			
	Kimméridgien supérieur	Calcaires (40 m épais)	
	Kimméridgien inférieur	Marnes et calcaires argileux	Kimméridgien inférieur-Oxfordien

Tableau 1: Log stratigraphique des formation de l'Antenne

1.2 Synthèse sur les nappes présentes sur le bassin versant

Systèmes réservoir	Type	Porosité	Géométrie	Usage	Epaisseur
Aquifère Kimméridgien inférieur Zones topographiques hautes, aquifère micro karstique. Vidangé par les rivières et les sources proches de la couche imperméable.	Libre puis captif	Fissurale	monocouche	irrigation	120 m
Aquifère jurassique Tithonien – Kimméridgien supérieur Nappe peu productive dans un milieu karstifié. Alimentation des rivières en période de hautes eaux et phénomène inverse en périodes de basses eaux. Etiage accentué dans cette zone. Au NE, à la base du Tithonien et Kimméridgien, meilleures propriétés réservoirs.	Libre puis captif	Interstitielle et fissurale	multicouche	Irrigation et AEP	40 m
Aquifère Tithonien Situé sur points topographiques hauts, ces petites nappes sont soutenues par les formations peu perméables (Marnes) du Tithonien et alimentés principalement par les pluies.	Perchées	Interstitielle et fissurale	monocouche	Irrigation et AEP	
Aquifère crétacé Cénomanien Aquifère assez productif dans ces sables calcaires.	Libre puis captif				
Aquifère crétacé Turonien – Cognacien Aquifère karstique donnant lieu à de nombreuses sources dans la partie aval du bassin ainsi que des cours d'eau pérennes.	libre	Karstique	multicouche	AEP et irrigation	90 m
Aquifère crétacé Santonien	libre	Fissurale	multicouche	Peu utilisé	60 m
Nappe alluviale mêlée au purbeckien Réserves importantes d'eau dans les graviers calcaires enveloppés dans une matrice argilo-carbonatée.	libre	Matricielle			variable

Tableau 2: Récapitulatif des différents réservoirs

Le sous-sol charentais présente pour les terrains jurassiques un système de réseaux karstiques actifs très compartimentés et très mal répartis en surface comme en profondeur. En ce qui concerne les assises du Crétacé supérieur, elles présentent une succession de nappes et de réseaux karstiques semi captifs du fait de la position synclinale des couches. Cependant aucun de ces niveaux aquifères ne se trouve nettement individualisé à cause de la discontinuité des couches imperméables et du degré de fissuration très variable des terrains.

La géologie du bassin de l'Antenne génère trois morphologies distinctes :

- Au nord, le Kimméridgien et le Tithonien forment des reliefs modérés (~100m), karstique et l'Antenne et ses affluents se frayent un chemin à travers les calcaires du Jurassique.

- Le Purbeckien forme lui une dépression assez plane dans laquelle circulent les cours d'eau de l'Antenne, du Dandelot, le Veyron et de la Soloire. L'instabilité du réseau hydrographique est soulignée par l'importante extension des alluvions anciennes et modernes dans cette zone centrale.

- Dans la zone sud-ouest du bassin, le Crétacé, constitué de barres calcaires séparées par des formations plus meubles, forme des reliefs assez pentus. Il est probable que différentes morphologies karstiques (dolines, avens…) soient responsables d'une infiltration importante vers la nappe.

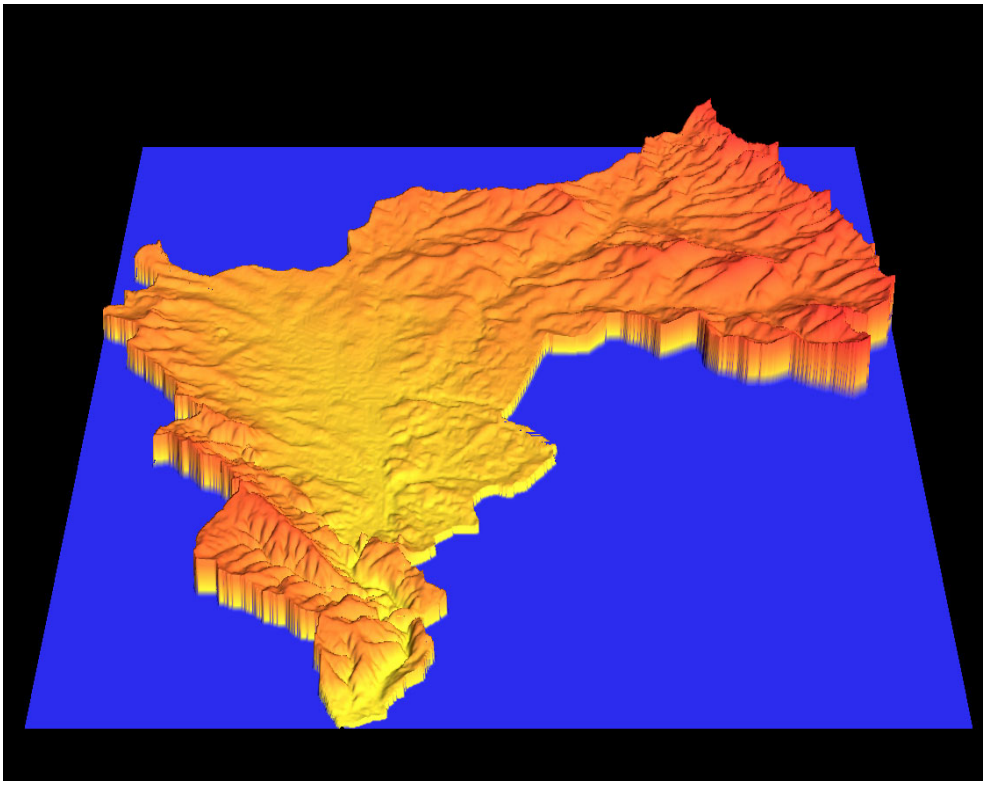


Figure 3: Morphologie du bassin versant de l'Antenne

En conclusion, la roche mère à dominante calcaire favorise l'écoulement rapide de l'eau à travers des milieux fissurés ou micro karstiques. On notera l'exception de la zone du plaquage Purbeckien (imperméable) qui rend localement captive la nappe sous jacente. La nature de la roche mère, à travers ses éléments détritiques, ne favorise pas une nature imperméable des sols.

1.3 Synthèse pédologique

Les données issues de la Chambre d'Agriculture Régionale Poitou-Charentes.

Toutes les propriétés des sols sont déterminées à partir de la méthode de l'INRA de Colmar basé sur des indices de texture.

Type de sols	**Texture**	**Infiltration**		**Ruissellement**		**Battance**
		Hiver	**Printemps**	**Hiver**	**Printemps**	
Terrasses calcaires de la Charente	Limono-argileuse à sablo-limoneuse. Ar : 5-25 %	100 %	75 %		25 %	Faible
Terres lourdes du Pays-Bas	Argileuse Ar : 30-60 %	75 %	50 %			Nulle
Vallée calcaire	Très variable Ar : 30-50%	100 %				Nulle
Groie de grès	Limono-argileuse Ar : 15-30 %	100 %	75%		25% (hypodermique)	Nulle
Groie moyennement profonde	Argilo-limoneuse Ar : 20-35 %	100%	100%			Nulle
Groie hydromorphe	Argileuse Ar : 3à-60 %	75 %	50 %			Nulle
Groie superficielle	Argilo-limoneuse Ar : 30 %	100 %	100 %			Nulle
Doucins calcaires ou groisailles	Limono-argileuse Ar : 15-30 %	100 %	75 %		25% (hypodermique)	Nulle
Doucins limoneux	Limoneuse ou sableuse Ar : 8-20%	0-30 %	0-5%	50-70%	95-100%	Forte

Tableau 3: Pédologie des sols du bassin de l'Antenne

La pédologie des sols du bassin de l'Antenne, à l'exception des Doucins limoneux, ne présente pas d'obstacle particulier à l'infiltration des eaux pluviales, voir annexe 1. Cependant devant la nature générale de ces données, des investigations ont été menées à partir de quelques témoignages recueillis auprès des agriculteurs et de la responsable du syndicat des eaux (SYMBA). De plus, des mesures d'infiltration ont été entreprises. Tous ces résultats sont présentés dans la partie suivante.

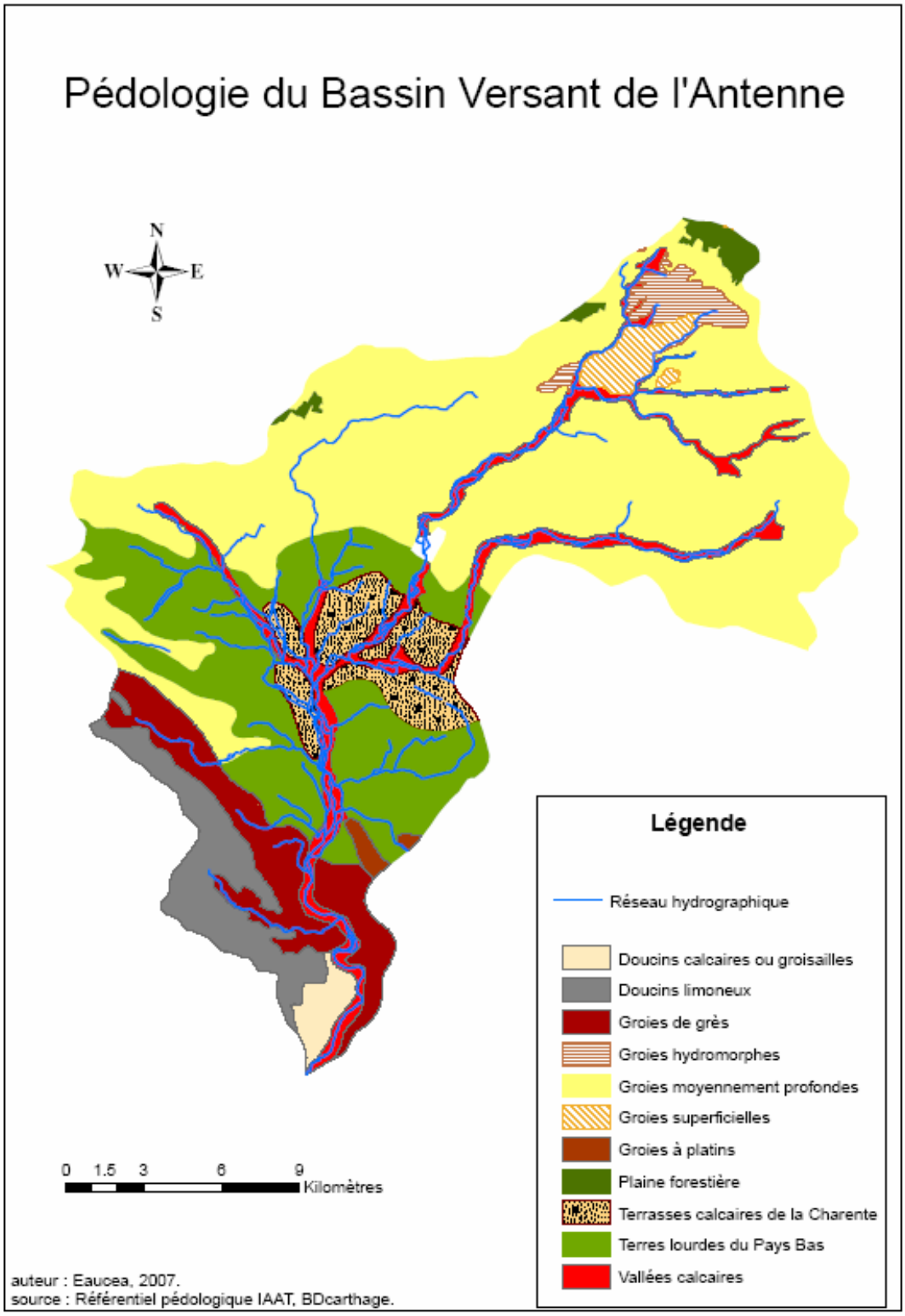


Figure 4: Carte pédologique.

1.4 L'Antenne et ses affluents : caractéristiques

L'Antenne prend sa source à la Fontaine Chalendray à une altitude d'environ 110 m. Son cours serpente sur 48 km pour se jeter, en affluent rive droite, dans la Charente sur la commune de Saint Laurent de Cognac à une altitude d'environ 5 m. Le bassin versant de l'Antenne draine une superficie de 435 km² et compte 350 km de linéaire de cours d'eau. La pente moyenne est de 2,6 pour mille ; en amont les pentes les plus fortes atteignent localement 1 pour cent et en aval les pentes les plus faibles sont de l'ordre de 0,45 pour mille.

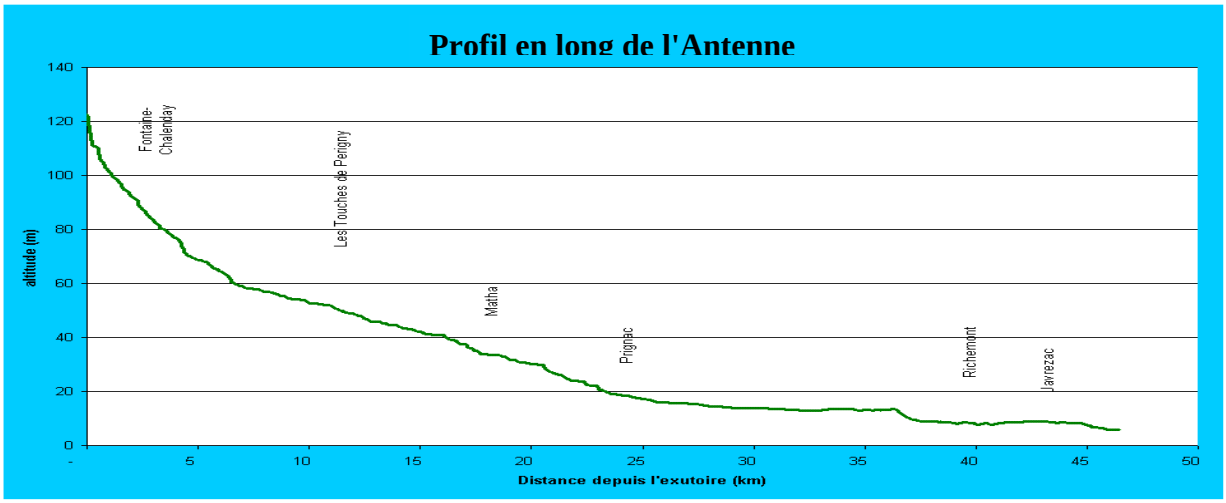


Figure 5: Profil en long de l'Antenne

Cette morphologie est directement liée à la nature géologique des terrains. De ce fait, le bassin versant fonctionne de trois manières distinctes :

- Dans la partie orientale du bassin versant, le substratum karstique, favorisant l'infiltration, ne permet pas l'installation d'un réseau dense. Sur ce secteur, les cours d'eau sont en relation étroite avec la nappe, qu'ils contribuent à alimenter ou inversement.

- Dans la partie occidentale, les plus faibles pentes et les formations argileuses évaporitiques purbeckiennes favorisent le ruissellement et créent un réseau hydrographique beaucoup plus ramifié avec de nombreux petits bras venant se greffer au Dandelot. Les faciès purbeckiens forment, plus en aval, une dépression presque plate où serpente également un réseau hydrographique important : les cours d'eau se mettent à divaguer et à se ramifier. Dans ce secteur, de grandes terrasses alluviales se sont développées. Il est difficile de rencontrer des sources au niveau des formations Purbeckiennes. Un front de points de source apparaît toutefois au contact Purbeckien avec les sables calcaires du Cénomanien.

- A l'aval du bassin versant, au sud de Cherves de Richemont, l'Antenne s'encaisse dans les formations du crétacé (Cénomanien, Turonien, Coniacien). Dans ce secteur, les hauteurs d'eau de l'Antenne sont directement influencées par la Charente.

2 LE RUISSELLEMENT SUR LE BASSIN VERSANT DE L'ANTENNE.

L'un des objectifs initiaux de cette étude est de quantifier le ruissellement et modéliser les chemins de l'eau pour diriger la prise de décisions concernant l'aménagement du territoire, notamment avec des aménagements légers de type haies ou bande enherbée. Cette partie s'attache à présenter l'ensemble des éléments qui permettent de caractériser ces phénomènes.

2.1 Synthèse des observations de terrain

Sur l'ensemble du territoire, les agriculteurs n'ont jamais observé de phénomène de battance, de ruissellements ou encore de départ de terre au niveau de leur parcelle. Les seules croûtes de battance observées le sont en fonds de vallées, là où se produisent des stagnations d'eau, et qui proviennent du dépôt et des accumulations d'argile. Même les épisodes de crues les plus importantes (1982, 1994 et mars 2007) ne semblent pas ranimer des souvenirs d'écoulement en surface des eaux, excepté dans les fonds de vallées.

En ce qui concerne le ruisseau du Ri Bellot (partie aval, au Sud-ouest de l'Antenne), la présence de sources est à noter. Elles se situent dans la zone des « marais » de la Houmade et permettent un maintien de l'écoulement du cours d'eau même en période d'étiage sévère : jamais, il n'y a eu constat d'un assèchement du Bellot.

La Courance (partie amont, secteur Nord de l'Antenne) : il s'agit d'un écoulement souterrain de cette rivière dans sa partie amont. Elle ne remonte en surface que dans les épisodes pluvieux prolongés comme dans le cas de ce mois de Mars 2007. Le reste du temps, elle peut ne pas apparaître durant plusieurs années consécutives
.

Les pratiques d'enherbement des vignes ne correspondent pas à une réponse à un problème dû au ruissellement. Il s'agit d'une méthode destinée à la limitation de la croissance végétative du plant (obtention d'une teneur en sucre optimum). Un rang sur deux est mis en herbe pour ne pas carencer trop fortement le cep de vigne.

Les réseaux des fossés sont inexistants ou peu développés sur la majorité du territoire du bassin versant de l'Antenne. Même dans la zone où le ruissellement serait le plus à craindre (zone des Doucins limoneux sur le sous bassin versant du Ri Bellot), on note une absence de ce réseau.

Le fait de ne pas installer de drain dans les parcelles cultivées démontre que les agriculteurs n'éprouvent pas de difficulté à accéder et à travailler la terre.

2.2 L'occupation des sols par l'agriculture.

La superficie des surfaces utilisées par l'agriculture occupe 75 % de la superficie du bassin versant. Ces superficies agricoles ont une légère tendance à la baisse au cours des 30 dernières années. La masse forestière (7000 ha), également stable, occupe environ 17 % de la surface du bassin versant.

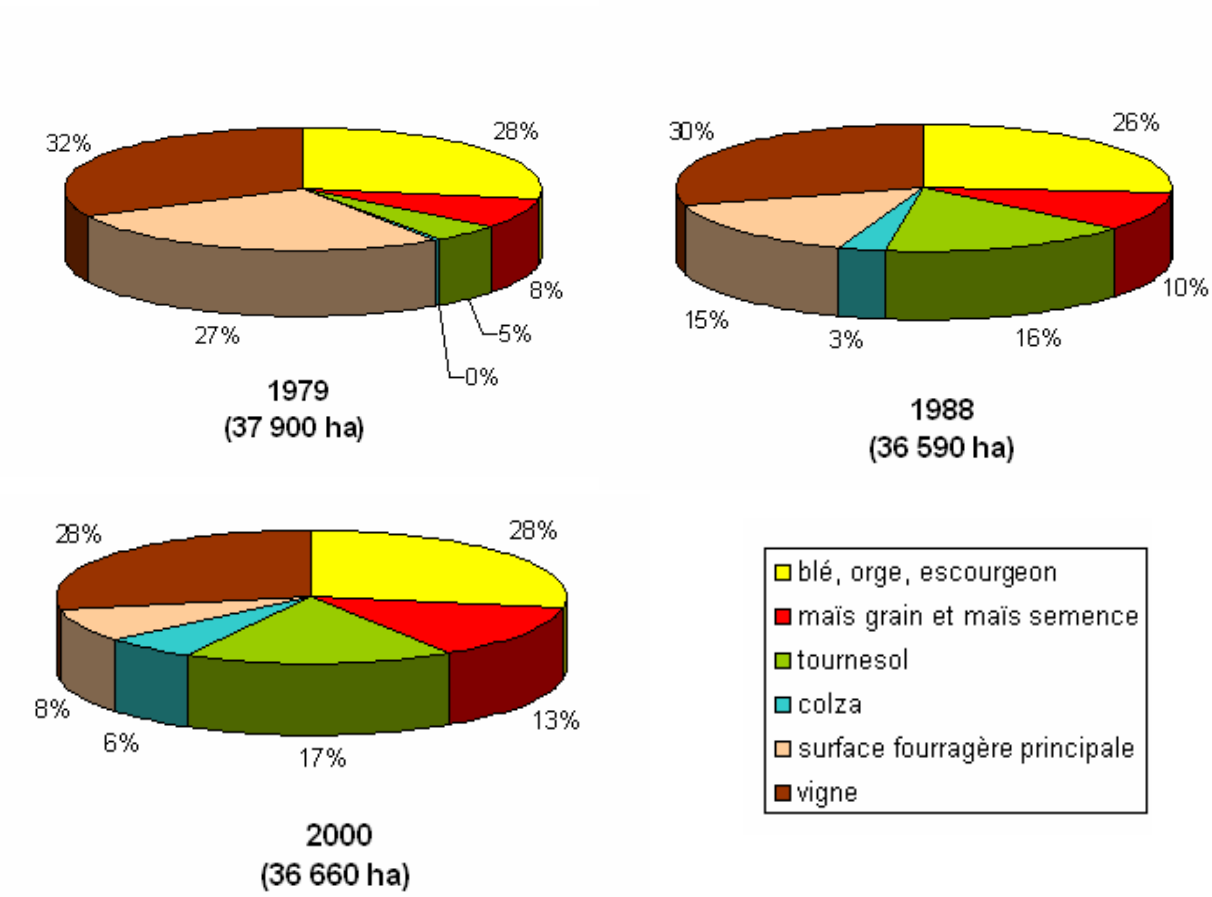


Figure 6: Evolution des surfaces cultivées

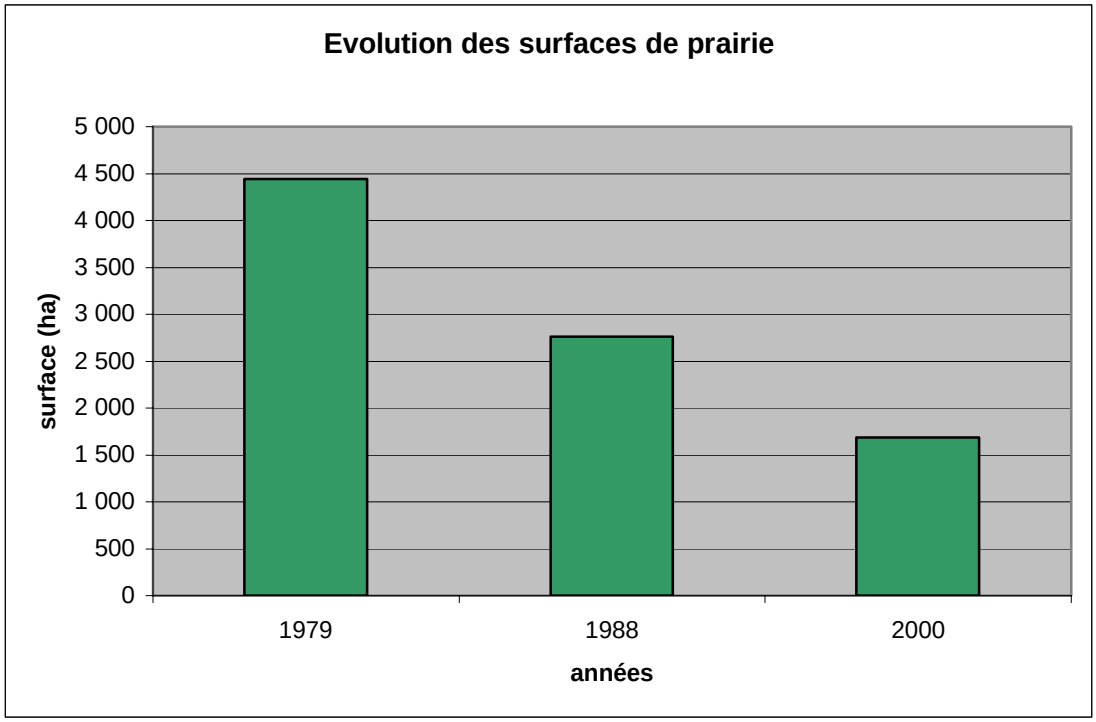


Figure 7: Evolution des surfaces de prairie

Dans l'évolution des assolements, les cultures céréalières (excepté le maïs grain) restent stables dans leur superficie. Les surfaces viticoles ont une tendance modérée à se réduire (- 4 % sur 30 ans). Les faits les plus notables sont la disparition de nombreuses surfaces prairiales entraînées par la disparition de l'élevage dans cette région. Ces surfaces ont été récupérées aux profits des cultures de maïs (permises par le développement de l'irrigation) ainsi que du tournesol qui s'étendent sur environ 30 % de la surface agricole utile.

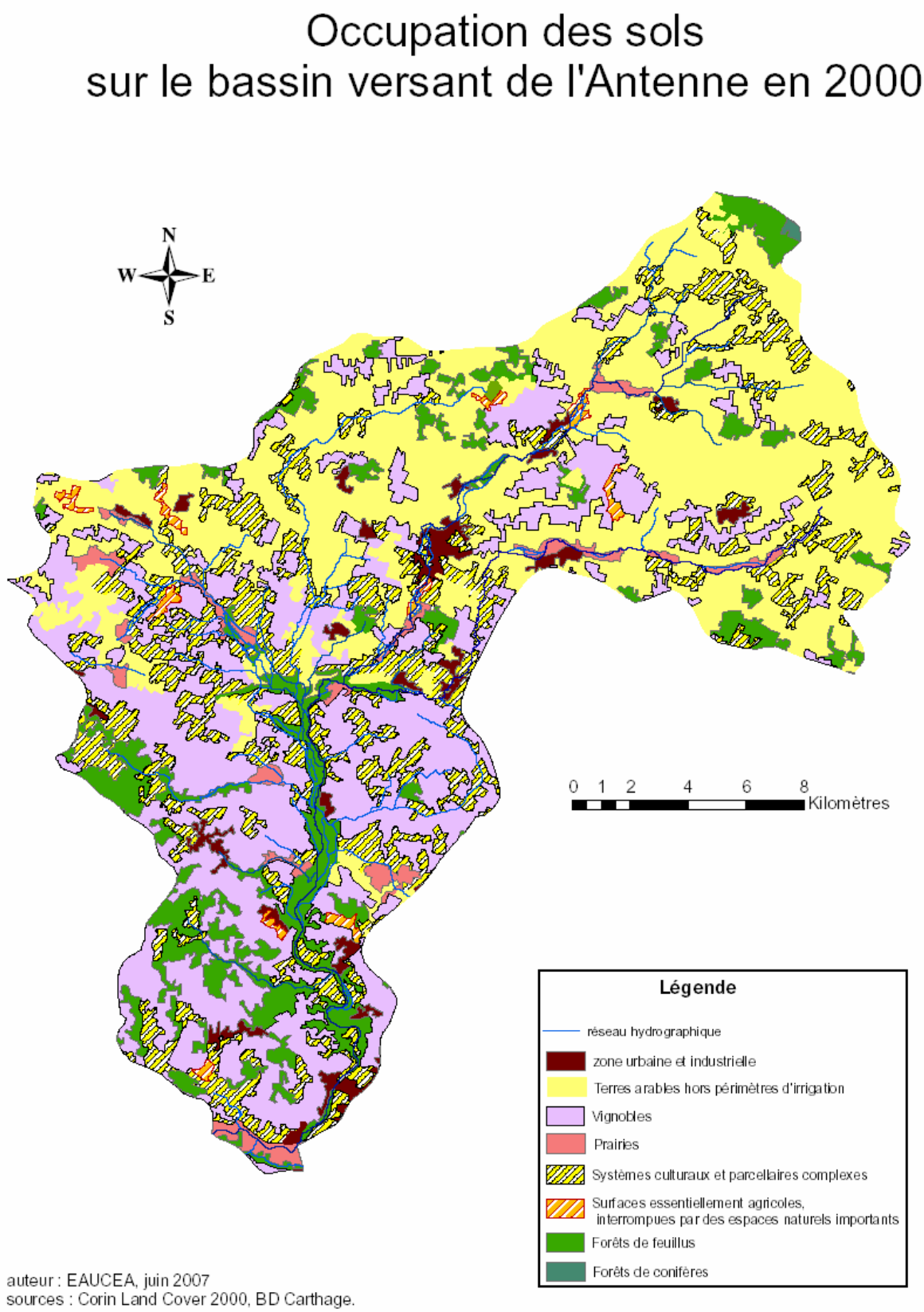


Figure 8: Carte de l'occupation du sol.

Les sols (destinés aux cultures de maïs et de tournesol) ne présentent pas de couvert végétal durant les périodes pluvieuses étant donné que les cultures ne sont implantées qu'à partir de la fin du mois d'avril. Ils sont effectivement moins protégés face aux précipitations. Par ailleurs, il semblerait que les labours soient entrepris majoritairement avant l'hiver, provoquant une certaine déstructuration du sol à sa surface. Les prairies permanentes, qui présentaient les couverts végétaux les plus fournis, ont donc quasiment disparu. Généralement, durant l'hiver, les cultures de blé ou d'orge présentent un couvert peu développé mais à partir du début de printemps, ces cultures assurent une protection efficace des sols.

Ces évolutions dans les choix des cultures et des travaux culturaux associés vont dans le sens d'une favorisation du phénomène de ruissellement ou de battance des sols peu protégés. Cependant, les caractéristiques pédologiques des sols ne permettent pas de créer de phénomènes de battance importants.

Au vue de la répartition géographique des différentes cultures, c'est la partie Nord du bassin qui a subi le plus ces modifications.

2.3 Campagne d'évaluation de la capacité d'infiltration des sols.

Méthodologie

Les essais ont été réalisés avec un infiltromètre à charge constante. Devant la longueur de réalisation de l'expérience (4h théoriques et 1h30 en pratique sur le terrain en moyenne), seulement quatre mesures ont été réalisées. Les zones d'échantillonnage ont été choisies en fonction de la nature pédologique des sols.

Limites

Un certain nombre de limites à cette étude sont énumérées ci-dessous :

- La méthode permet une mesure de la conductivité hydraulique et non de la capacité d'infiltration, elle permet toutefois d'apprécier la capacité du sol à laisser circuler l'eau et permet de comparaison des différents types de sol.
- l'état de surface n'a pu être pris en compte à travers sa croûte de battance ou la rugosité du sol.
- l'influence du couvert végétal n'a pu être étudiée.
- La valeur de Ks (Conductivité hydraulique à saturation) est surestimée car l'état de saturation du sol n'est pas suivi au cours du test.
- enfin, devant les valeurs très importantes d'infiltration, c'est le débit délivré par notre matériel qui s'est avéré limité dans sa capacité à fournir une quantité d'eau suffisante. Ceci a eu pour conséquence une sous estimation du Ks dans le cas particulier de la station 3.

La figure suivante présente les zones d'échantillonnage effectuées :

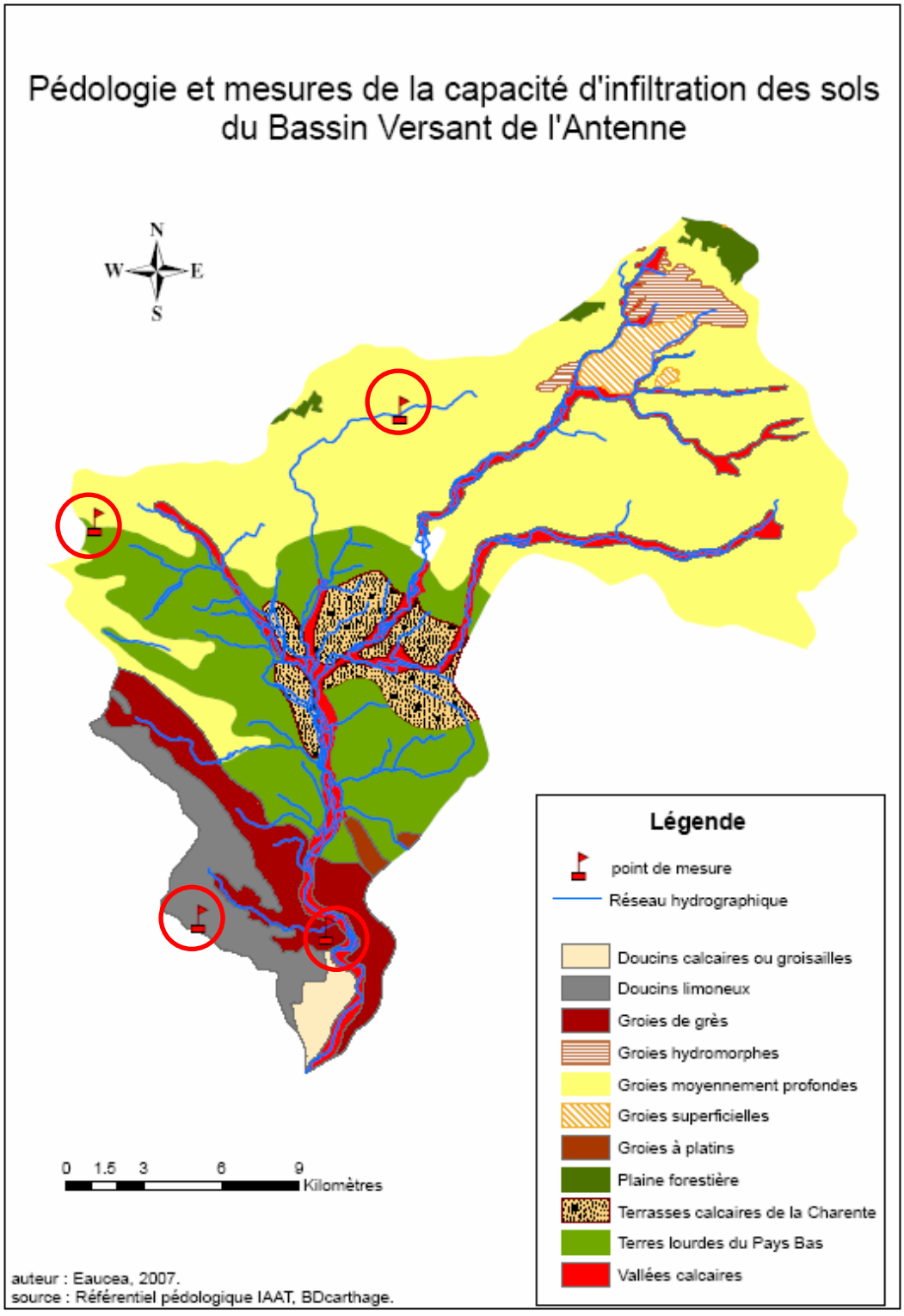


Figure 9 : Carte des points de mesures effectuées.

Les graphique suivants présentent l'évolution de la conductivité hydraulique en fonction du temps.

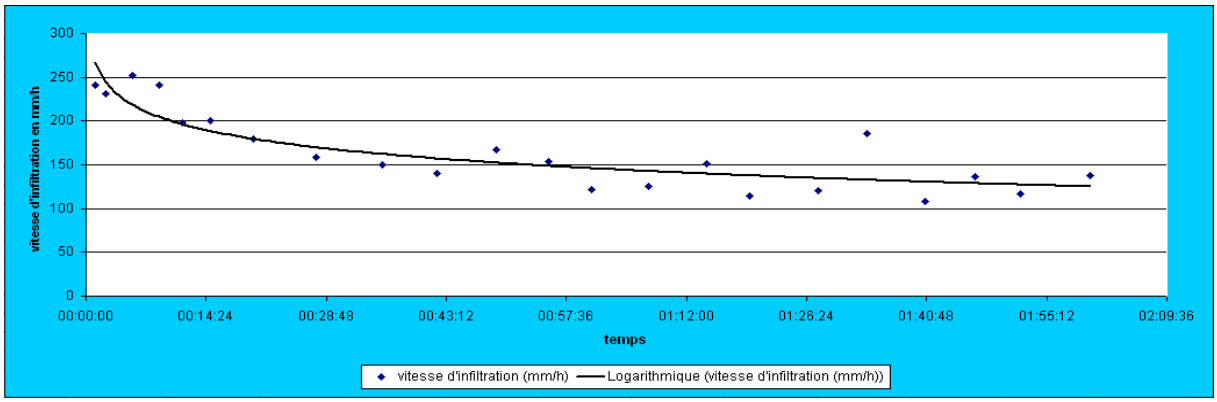


Figure 10 : conductivité hydraulique des groie de Grès.

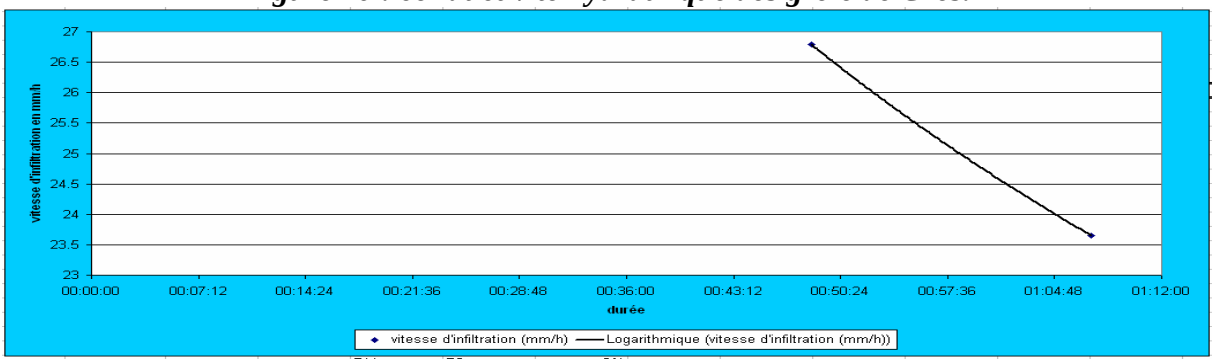


Figure 11 : conductivité hydraulique des Doucins limoneux.

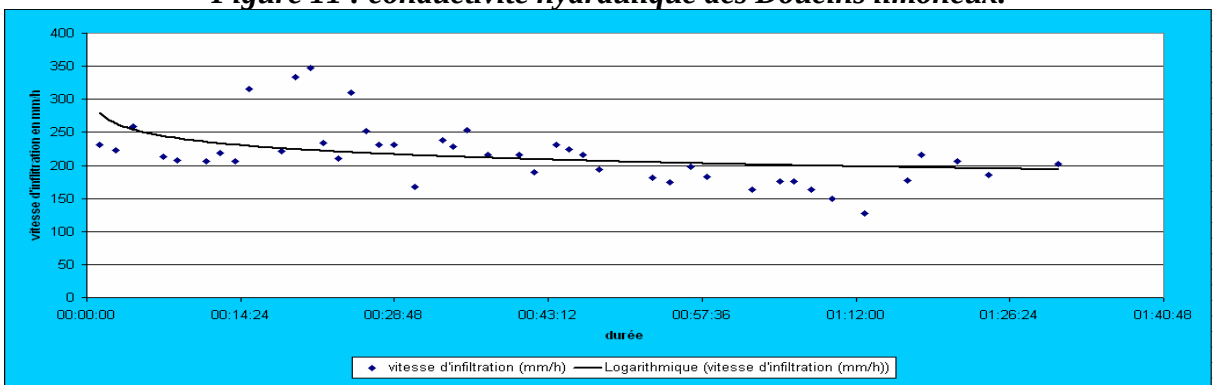


Figure 12 : conductivité hydraulique des groies moyennement profondes

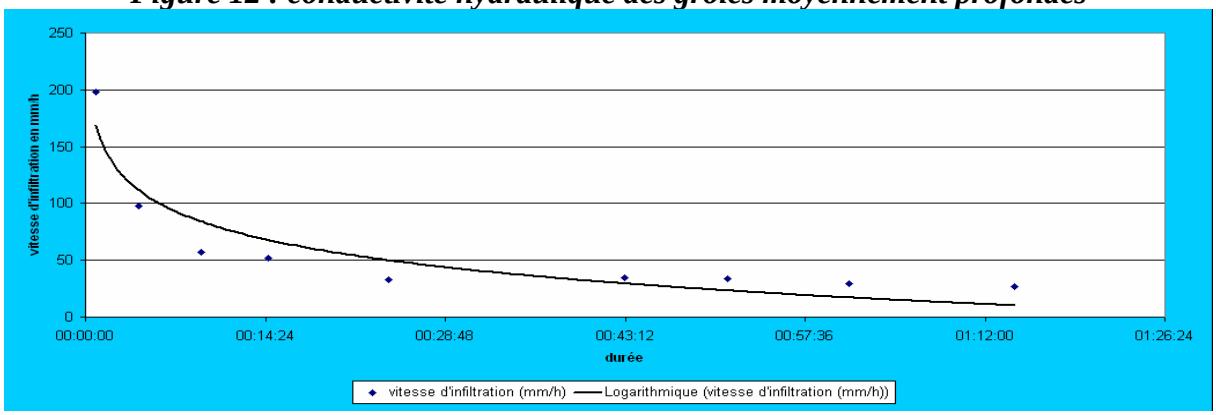


Figure 13 : conductivité hydraulique des Terres lourdes du Pays Bas.

En annexe 1, la description des sols correspondant à chacune de ces mesures est disponible.

Sur les terrains présentant une forte présence de calcaire (Groie de Grès et Groie moyennement profonde), les valeurs d'infiltration sont très importante et de l'ordre de 130 à 200 mm/h au bout d'une heure d'infiltration, avec une saturation qui doit être assez bien approchée d'après la forme des courbes.

Dans les zones d'accumulation des argiles (situées généralement en bas de pente ou en extrémité de parcelles) sur des terrains à plus fortes teneurs en argile dans leur texture (Terres lourdes du Pays bas ou Doucins limoneux), les capacités d'infiltration sont de 20 à 30 mm/h au bout d'une heure. Ceci qui correspond à des valeurs non négligeables également pour les intensités de précipitation existant sur cette région (43 mm en 1 jour pour une durée de retour de 10 ans soit en approximant moins de 10 mm/h).

2.4 Le rôle des haies dans la régulation des flux d'eau.

Cette partie répond aux interrogations soulevées plusieurs fois quant à l'efficacité de cette structure paysagère sur les écoulements de l'eau conformément aux objectifs initiaux de l'étude.

L'état actuel des recherches attribue des fonctions essentielles aux haies sur les transferts de surface (ruissellement et érosion) et de subsurface (eau, nitrates) (VIAUD V., 2004). En ce qui concerne le ruissellement de surface, cette structure tampon permet une interception des flux avant d'en favoriser l'infiltration.

Pour les écoulements de subsurface, l'ETR (Evapotranspiration Réelle) générée par les végétaux permet d'évacuer une partie de l'eau. De plus la création d'un "noyau sec" autour des racines augmente le volume potentiellement interceptable sur les écoulements de subsurface suite à un événement pluvieux. (Thèse de CAUBEL V., 2001). I

Les haies peuvent donc avoir un impact sur les écoulements de subsurface, dans les zones non saturées, en début de saison pluvieuse. En effet, la création d'un noyau sec dans le sol retarde la saturation de celui-ci et donc par conséquent le risques de ruissellement. Cependant, une fois ces zones saturées, l'efficacité de la haie en période hivernale est nulle sur les écoulements de surface et subsurface.

Or sur le bassin versant de l'Antenne, ce sont principalement des phénomènes de remontées de nappe qui provoquent la saturation des sols et qui peuvent ainsi générer du ruissellement.

Il est à noter également que l'action de la géologie est prépondérante sur le régime hydrologique et que l'action d'une haie ne vient que moduler ce régime. La nature des sols et l'absence d'un relief abrupte favorisent sur le bassin versant une infiltration importante de l'eau vers les réservoirs profonds, phénomène sur lequel les haies n'ont qu'une action très faible.

En conclusion, dans le contexte de ce bassin versant, les haies ne peuvent apporter qu'une contribution jugée minime dans la modulation du régime hydrologique de l'Antenne.

2.5 Modèle hydrologique de ruissellement: STREAM

L'étude prévoyait initialement l'utilisation d'un modèle de ruissellement afin d'étudier l'impact de l'aménagement du territoire sur les écoulements de surface. Cette modélisation a été réalisée à l'aide du modèle STREAM qui est présenté en annexe 2.

Les résultats de la modélisation, retranscrivant que très peu de ruissellement, n'ont pas permis de continuer l'étude via cet outil, ils sont toutefois fournis et illustrés en annexe 2.

2.6 Conclusion sur l'étude du ruissellement de surface sur l'Antenne.

Il apparaît donc, d'après cet ensemble de données, que ces phénomènes ne sont pas significatifs sur le bassin versant de l'Antenne. Ces phénomènes n'ont pas été remarqués par les acteurs locaux. Tous ces éléments confirmeraient un système hydrologique régulé par la vidange des nappes souterraines comme le montre la présence de nombreuses sources le long des cours d'eau. Les grandes zones de saturation se trouvent toutes dans les fonds de vallées où l'on assiste à l'affleurement de la nappe en surface.

Au vu de ces résultats, il paraît évident que le ruissellement ne représente qu'une part minime des écoulements. Le choix s'est donc porté sur deux modèles de type réservoir, permettant de mieux retranscrire les phénomènes de vidange et de tarissement de nappe. Ceci dans le but de reconstituer de manière la plus pertinente possible des chroniques de crues qui aujourd'hui ne sont pas existantes.

Cette part trop faible de ruissellement ne permet pas de justifier l'étude de l'impact de l'aménagement du territoire sur les crues. Etant donné le fonctionnement du bassin versant, un aménagement de type plantation de haies ne peut suffire pour jouer un rôle significatif sur l'écrêtement des crues.

La réflexion devra donc plus s'orienter sur des aménagements hydrauliques type ralentissement dynamique sur les têtes de bassin ou éventuellement de site de surstockage.

3 MODELISATIONS HYDROLOGIQUES DU BASSIN VERSANT DE L'ANTENNE.

L'un des objectifs de cette étude est la création d'un modèle pluie-débit permettant une meilleure compréhension du fonctionnement hydrologique du bassin versant. Cet outil permettra à terme une reconstitution des chroniques de débits sur les 30 dernières années et ainsi une étude quantitative des crues et étiages plus approfondie qu'en l'état actuel des connaissances. Le choix pour le modèle final s'est porté sur le modèle CycleauPE (Cycle de l'eau pour les Prévisions d'Etiage développé par Eaucéa) pour deux raisons :

- -CycleauPE est déjà utilisé sur le bassin versant de la Charente.
- -Il permet une interprétation physique des phénomènes et donc une meilleure compréhension du système.

Dans ce contexte où les données permettant une validation d'un outil sont incomplètes, il a été décidé d'utiliser un autre modèle pluie-débit à titre comparatif. Le choix pour ce dernier s'est porté sur le modèle GR4J issu de la thèse de Charles Perrin[1] (voir annexe 3), simple à caler et fiable en l'absence de données.

Afin de s'affranchir des conditions initiales de remplissage des réservoirs, dans les deux modèles, une année d'initialisation permet de remplir et vidanger les réservoirs et ainsi de mieux retranscrire l'état de remplissage en début d'année.

Le pas de temps journalier est adapté à la problématique compte tenu de la taille du bassin versant et de ses temps de réponse. Les chroniques suivantes sont disponibles:

- les données pluviométriques et d'ETP de 1976 à 2006 de Cognac (ville située à proximité du point exutoire du bassin de l'Antenne).
- les données pluviométriques de l'année 1979 à 1987 de Matha (ville située sur le cours de l'Antenne au centre du bassin).
- les débits mesurés sur l'Antenne, sur le quai de la Distillerie de la Groie (point exutoire de l'Antenne à Javrezac), de 1978 à 1987.

3.1 Le modèle GR4J

Il s'agit d'un modèle à réservoirs à quatre paramètres optimisables :

- ***A*** : capacité du réservoir de production (mm)
- ***B*** : capacité à un jour du réservoir de routage (mm)
- ***C*** : temps de base de l'hydrogramme unitaire *HU*1 (j)
- ***D*** : coefficient d'échanges souterrains (mm)

[1] C PERRIN : « Amélioration d'un modèle globale pluie débit au travers d'une approche comparative », 2000.

Avec : ETP : évapotranspiration potentielle, Pperc : percolation du réservoir sol S, HU1 et HU2 : hydrogrammes unitaires, Qr : débit ruisselé, Ql : débit direct.
Les points forts de la modélisation proposée :

- les paramètres sont en nombre limité (4),
- il existe une procédure automatique de calage développée au Cemagref (Centre d'Etude du Machinisme Agricole et du Génie Rural des Eaux et des Forêts).

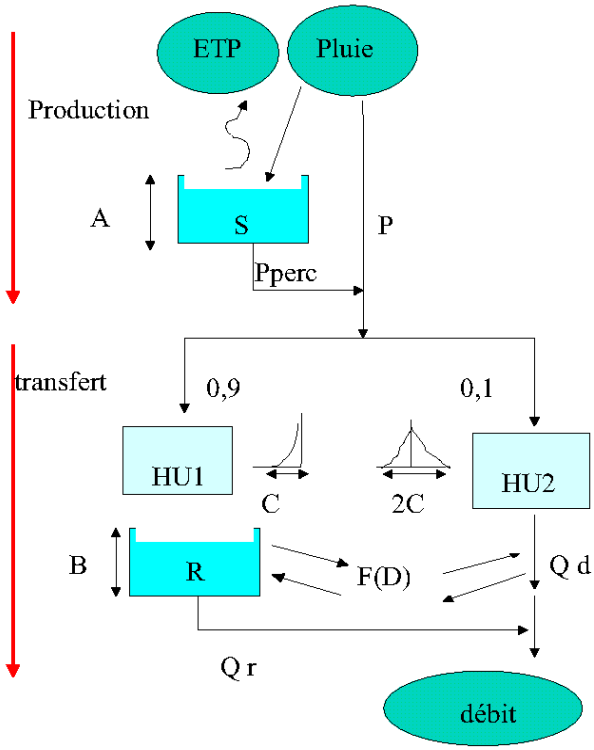


Figure 14 : Schéma du modèle hydrologique GR4J.

La pluie tombant sur le bassin versant se divise entre une partie remplissant le premier réservoir (réservoir de production) Pn et une partie ruisselant directement sur le bassin P. Pn est aussi appelée pluie nette, une partie va retourner dans l'atmosphère par évapotranspiration (ETP) ; P est la pluie brute, elle contribue directement à la formation du débit. 90% de la somme de la percolation Pperc et de la pluie brute va contribuer au remplissage du second réservoir (réservoir de routage) qui va se vidanger avec un débit Qr.
Les 10% restant vont contribuer directement à la formation du débit à l'exutoire (Q1).
Le paramètre D permet d'ajuster la répartition 10%-90% (prédéfinie) et rendre le modèle plus proche de la réalité.

La somme des débits (Qr+Q1) donne le débit à l'exutoire du bassin versant.

Les paramètres sont optimisés afin de minimiser l'écart entre débits observés et débits calculés sur la base de critères d'évaluation des performances robustes (Nash, critère de bilan, critère relatif d'erreur absolue).

$$Nash = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n} \left(Qobs(i) - Qcal(i)\right)^2}{\sum_{i=1}^{n} \left(Qobs(i) - \overline{Qobs}\right)^2} \qquad R^2 = \frac{\sum_{i=1}^{n} \left(Qobs(i) - Qcal(i)\right)^2}{\sum_{i=1}^{n} \left(Qobs(i)\right)^2} .$$

Ces 2 critères doivent tendre vers 1 quand les débits calculés se rapprochent des débits observés. Une valeur supérieure ou égale à 80%, permet de conclure que les débits sont bien reconstitués.

$$Bilan = 100 * \frac{\sum_{i=1}^{n} \left(Qcal(i) - Qobs(i)\right)}{\sum_{i=1}^{n} Qobs(i)}$$

Au pas de temps journalier, il permet de rendre compte de la capacité du modèle à restituer le ruissellement en période pluvieuse et les faibles débits en périodes sèches. Il doit tendre vers 0 et est positif quand le volume est surestimé par le modèle et négatif dans le cas contraire. Ce pourcentage doit être inférieur à 10% pour conclure que le modèle restitue bien les volumes.

L'ensemble des formules associées au modèle GR4J sont exposées en annexe 3.

3.2 Le modèle CycleauPE

Les modèles "réservoirs" mis en oeuvre pour chaque sous bassin s'appuient sur la même structure. Les paramètres de calage retenus pourront par contre être différents d'un bassin à l'autre, afin de rendre compte des hétérogénéités de comportement : réponse à un événement pluvieux, recharge des nappes, tarissement, etc…

La structure des modèles comporte 4 réservoirs :

• Le réservoir superficiel (noté S), à capacité limitée (Smax)
• Le réservoir non saturé (noté N), à capacité limitée (Nmax)
• Le réservoir "humidité" (noté RFU), à capacité limitée (RFUmax). Il représente le potentiel matriciel du sol.
• Le réservoir profond saturé (noté P), sans limite de capacité

Ces réservoirs et leurs fonctionnements sont représentés schématiquement sur la figure suivante :

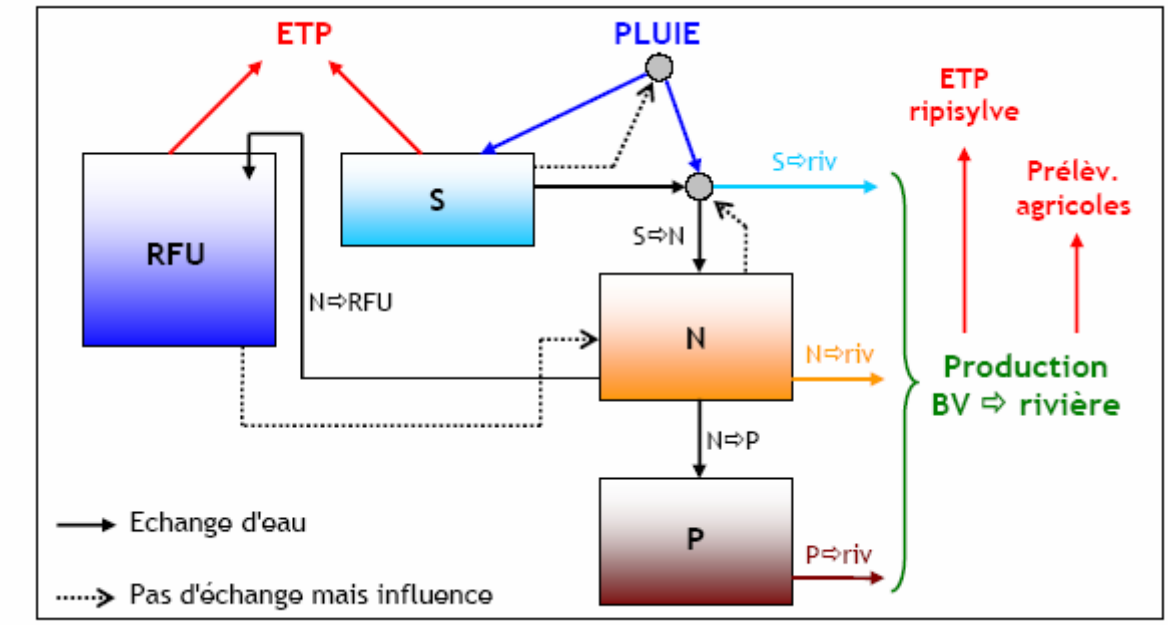


Figure 15 : Schéma de fonctionnement du modèle CycleauPE.

Modalités de fonctionnement :

La production du bassin versant vers la rivière dépend dans ce modèle des précipitations (PLUIE) et de l'évapotranspiration potentielle (ETP), qui font réagir les différents réservoirs, qui eux-mêmes se vidangent, chacun à leur rythme, dans la rivière.

1. Dans le modèle, la pluie alimente directement le sol, la zone non saturée et le ruissellement. Les proportions de ces échanges (compris entre 0 et 1 pour chaque compartiment) sont en interaction et dépendent de leur état respectif à J-1. Lorsque la pluie s'abat sur le bassin, le taux de remplissage du réservoir S (rapport S/Smax) commande la part infiltrée dans S et la part qui passera directement dans N. Ainsi, un sol humide va favoriser l'alimentation de la zone non saturée. Si les apports pluviométriques sont supérieurs à la capacité Smax, il y a transfert. La part évaporée vient réduire le stock de S (La pluie précède l'évaporation dans le modèle).

2. En fonction du taux de remplissage de N (N/Nmax), les apports à N (pluie et transfert depuis S) vont soit ruisseler (S-Riv), soit alimenter N (S-N). Ainsi, un fort remplissage de N favorisera le ruissellement direct.

3. Le réservoir N commande à la fois les écoulements retardés vers le cours d'eau (ressuyage, décrue, etc…) et les apports au réservoir profond P (recharge des nappes). Cette vidange de N vers P ou la rivière est régulée par la notion de capacité au champ (potentiel matriciel du sol = capacité du sol à retenir l'eau dans l'espace interstitiel grâce aux forces de capillarité).

Ce potentiel va donc avoir tendance à soit retenir l'eau dans la zone non saturée si l'humidité du sol est faible, soit la laisser s'écouler si l'humidité est élevée.
C'est à ce niveau qu'intervient le réservoir RFU, caractéristique de la capacité au champ du sol. RFU est alimenté par N et vidangée par la part de l'ETP non satisfaite par le stock du sol (lorsque S = 0).

Les échanges depuis N vers P et Riv (N-Riv et N-P) sont proportionnels à RFU/RFUmax (plus l'humidité est forte, plus la vidange est importante). A l'inverse les échanges de N vers RFU (N-RFU) sont proportionnels à 1-RFU/RFUmax (plus l'humidité est faible, plus le transfert vers RFU est important).
Par ailleurs, l'intensité des échanges est aussi proportionnelle au stock de N. Plus le remplissage de N est élevé, plus les transferts d'eau vers RFU, P ou Riv sont importants. Enfin, la part relative des sorties d'eau depuis N est paramétrée par KN-RFU, KN-P et KN-Riv.

4. La vidange du réservoir profond P assure le débit de base du cours d'eau, notamment à l'étiage. Cette vidange (P-Riv) est directement proportionnelle au remplissage de P. Elle suit la loi suivante, issue du modèle GR4'J:

$$Q = P\left\{1-\left[1+\left(\frac{P}{P\max}\right)^4\right]^{-\frac{1}{4}}\right\}$$

Cette modification a été apportée au modèle CycleauPE afin de pouvoir simuler plus précisément les périodes d'étiage. La loi précédemment utilisée ne permettait pas de retranscrire parfaitement la fin du tarissement. Dans ce contexte particulier du bassin versant de l'Antenne cette nouvelle loi permet donc de mieux retranscrire les débits observés.

5. La production du bassin versant, apportée à la rivière, est donc l'addition des termes S-Riv, N-Riv et P-Riv.

Les critères de Nash et de bilan sont également utilisés avec le modèle CycleauPE afin d'évaluer les performances du modèle.

3.3 Problèmes liés aux données

3.3.1 Les précipitations

Le premier problème pour modéliser le bassin versant de l'Antenne concerne les données pluviométriques. En effet, les courbes des précipitations cumulées sur les stations de Matha (située au centre du bassin) et de Cognac (au Sud et en dehors du bassin versant) mettent en évidence la variabilité spatiale des précipitations. Les données de Matha, étant plus représentatives de la zone d'étude, seront utilisées pour le calage des modèles. Les données de Cognac, plus complètes, serviront à l'étude et à la reconstitution des chroniques de débits sur la période 1988 à aujourd'hui.

Les données pluviométriques issues de la station de Matha sont incomplètes durant un mois (juillet ou août) durant 4 années consécutives (de 1980 à 1983). Elles sont donc complétées sur ces périodes par les données relevées à Cognac.

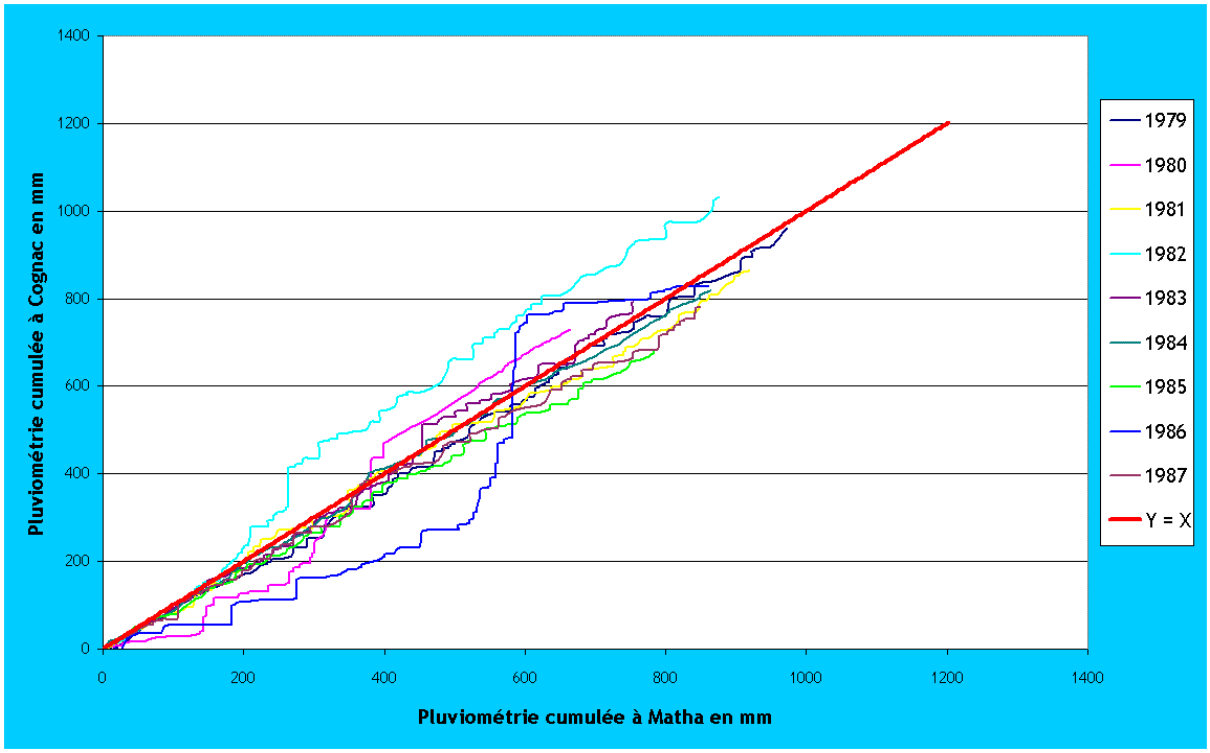


Figure 16 : Graphique de comparaison des précipitations cumulées.

Le graphique suivant présente les résultats issus de la modélisation réalisée avec les données pluviométriques de Cognac et illustre bien le problème de la représentativité des données pluviométriques de cette station.

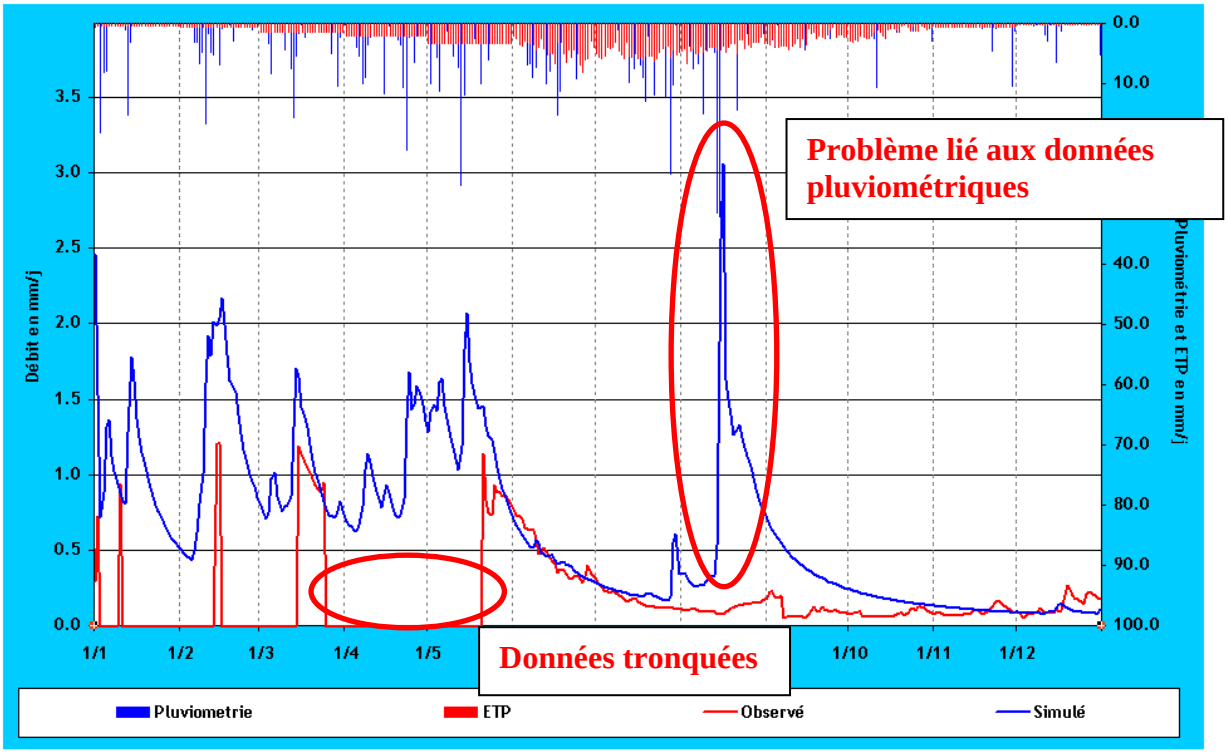


Figure 17 : Illustration des problèmes liés à la mesure et aux données de l'année 1986.

Etant donnée l'étendue géographique de la zone, une interpolation entre stations pluviométriques aurait pu aider à mieux cerner une répartition moyenne des pluies sur le BV et obtenir ainsi plus de précision dans les modélisations et comparaisons. Ne disposant que de neuf années communes, cette méthode n'a pas été utilisée.

3.3.2 Les chroniques de débits

Les chroniques de débits mesurés à Javrezac (point exutoire du bassin de l'Antenne) sont tronquées systématiquement au dessus de 4 à 5 m^3/s. Car la station était directement sous l'influence du fleuve Charente en période de crue, rendant incorrélables toutes les mesures acquises. Les données validées sont donc les débits observés lors des périodes de décrue et d'étiage de la rivière.

Il apparaît urgent d'installer une station d'acquisition plus en amont (par exemple au niveau du Pont de St Sulpice comme le projette le Service de Prévision des Crues) permettant des acquisitions correctes autant en période d'étiage que de crues. Pour pallier ce manque, une acquisition en continu a toutefois été réinstallée à l'emplacement de l'ancienne station limnimétrique.

De plus, certains événements observés sur les chroniques peuvent être mis en doute. Ainsi, à plusieurs reprises, des sauts brutaux de débits on été enregistrés et validés. Ils peuvent être expliqués par une anomalie de fonctionnement de l'appareil de mesure, ou dans la modification du barème de tarage.

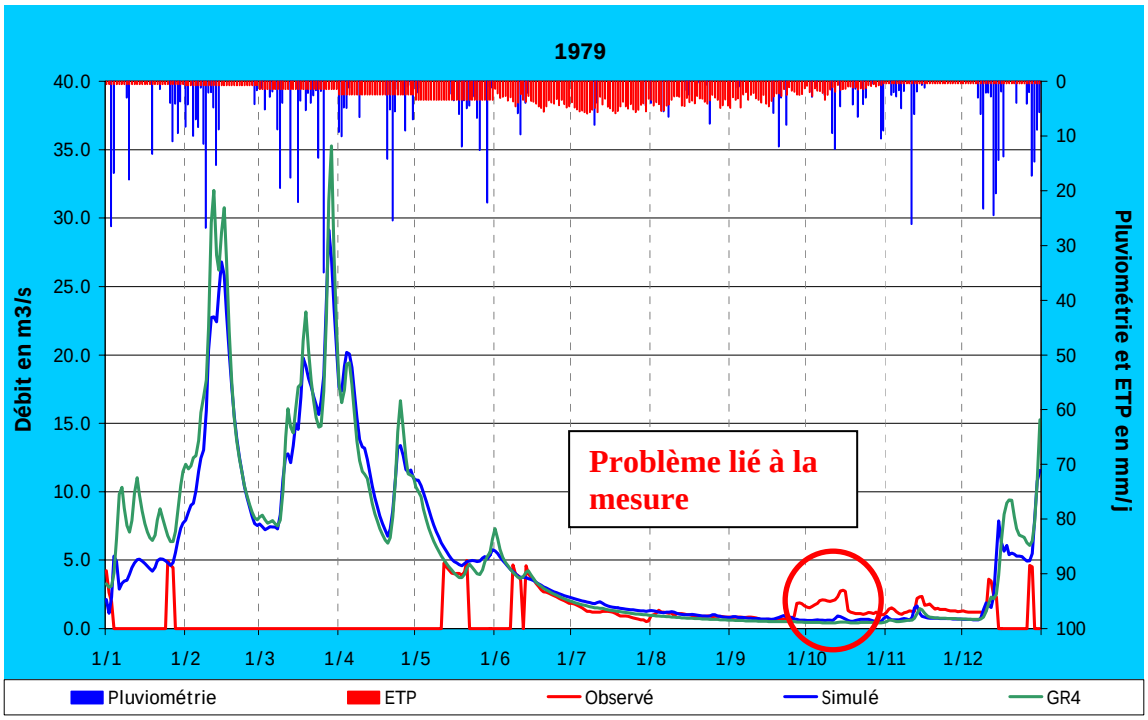


Figure 18 : Illustration des problèmes liés à la mesure de l'année 1979.

3.4 Résultats des modélisations

3.4.1 GR4J

Il s'agit de la modélisation qui reproduit le mieux les débits observés obtenant un critère de Nash proche de 85 % pour l'année 1985 et 1986.

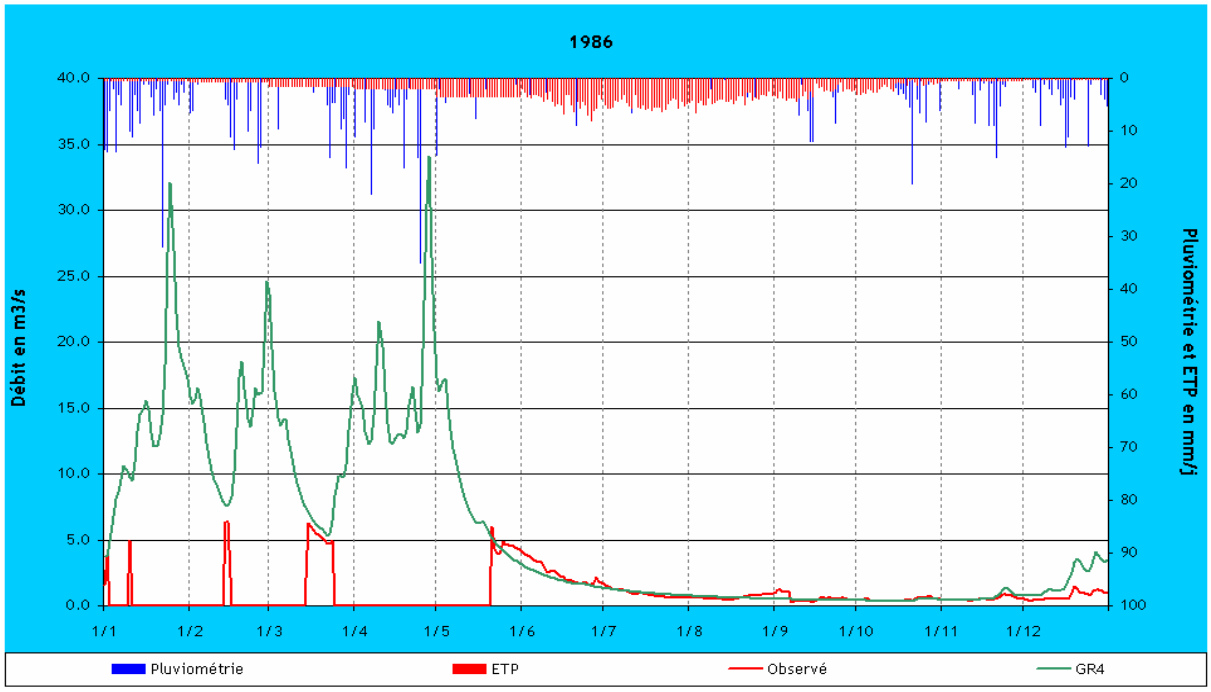


Figure 19 : Résultats du modèle GR4J.

3.4.2 CycleauPE

Après calage des différents paramètres, il ressort que le fonctionnement de ce modèle est proche de ce qui a pu être observé sur le terrain. Une cohérence physique se détache de cet ensemble.

Ainsi, le réservoir P, qui simule l'effet des aquifères, contribue majoritairement aux écoulements sur le bassin versant de l'Antenne.

Le ruissellement n'apparaît que ponctuellement lors d'épisodes pluvieux prolongés en saison hivernale où le réservoir RFU présente un taux de remplissage important simulant ainsi l'état de saturation du sol.

Les résultats obtenus sont très proches des valeurs observées et permettent d'obtenir un critère de Nash supérieur à 80 % pour les années 1985 et 1986.

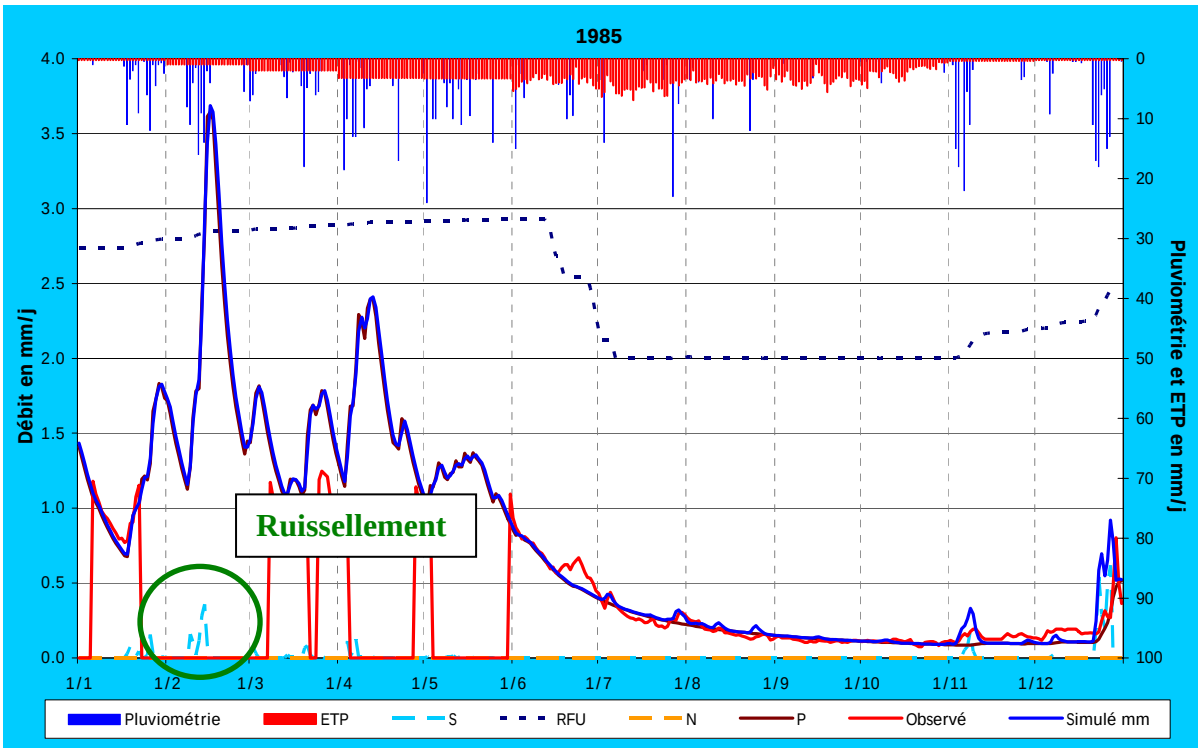


Figure 20 : Détail de la contribution des différents réservoirs à l'écoulement.

3.4.3 Comparaison des modélisations issues des deux modèles

Les deux modélisations simulent les étiages de manière similaire et retranscrivent les épisodes pluvieux aux mêmes instants. Il est noté que le modèle GR4J donne des valeurs de débits de crues plus importants que le modèle CycleauPE, avec un écart de l'ordre de 10 à 20%. Les graphiques suivants présentent ces résultats.

Du fait de l'absence de données sur les débits observés en crue, il n'est pas possible de valider l'une ou l'autre des deux méthodes.

Une station d'acquisition automatique des débits horaires a été installée au point exutoire que représente la ville de Javrezac. Les données acquises permettront peut-être de conclure sur la meilleure approche.

Il est à noter que le calage du modèle CycleauPE n'est pas définitif et qu'il est possible d'affiner la représentation des crues en favorisant plus ou moins le ruissellement.

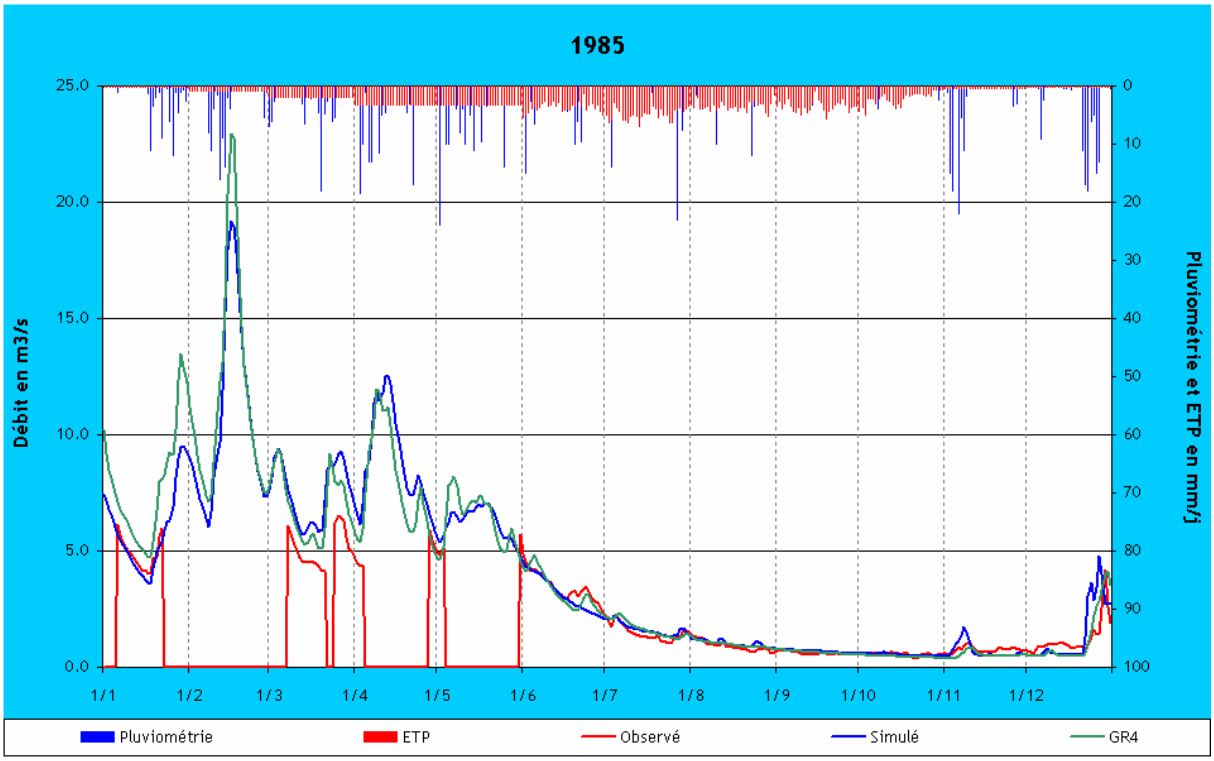


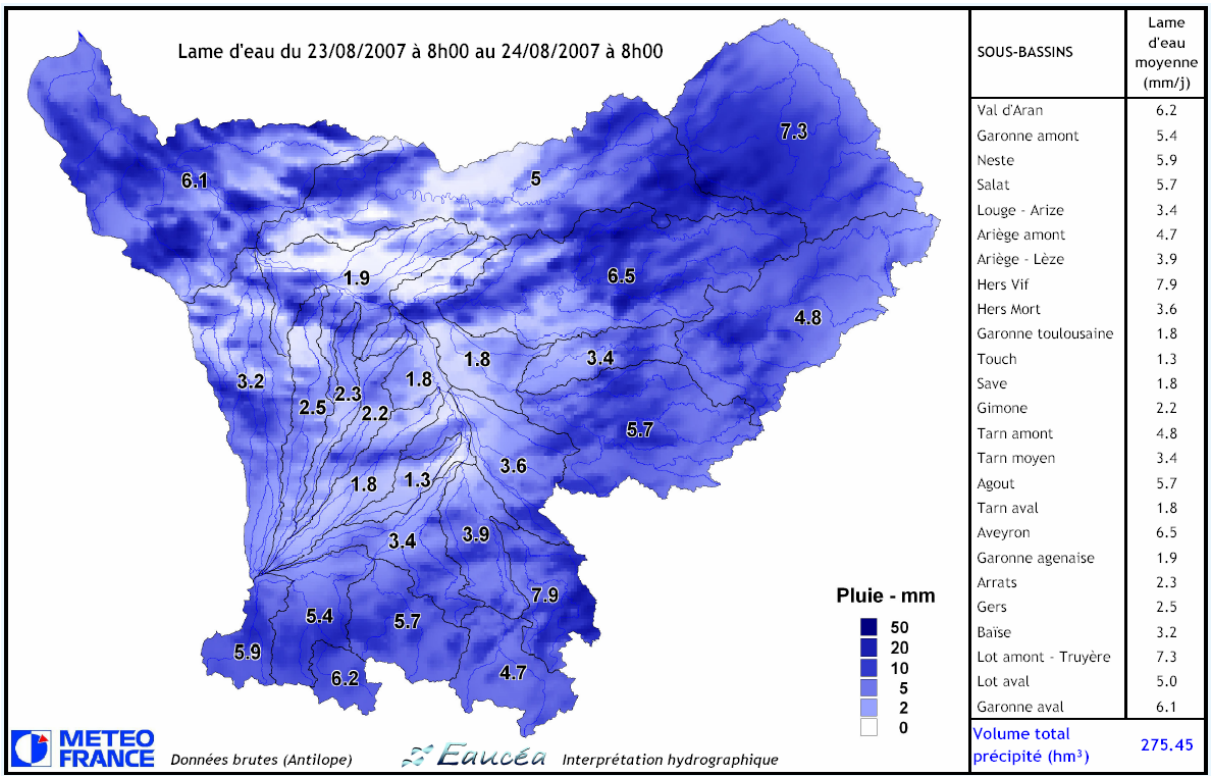
Figure 21 : Comparaison des résultats des deux modèles pour l'année 1985.

3.5 Synthèse sur le recours aux modélisations

Au travers de cette phase de calage, il apparaît clairement que ce bassin versant est soumis plus à des "crues de nappes" qu'à des crues générées par du ruissellement. Pour affiner ces dires, des mesures au pas de temps horaires seraient intéressantes à exploiter et l'installation de la station d'acquisition automatique a été réalisée dans cet objectif.

Le modèle déterministe CycleauPE se démarque par deux avantages : il permet de modéliser un plus grand nombre de phénomènes non pris en compte par le modèle GR4J : impact de l'irrigation, impact du « boom » de croissance de la végétation au printemps. De plus les données en entrée sont limitées en nombre et facilement disponibles.

Enfin, un dernier point récurent est la qualité des données de départ à travers la localisation spatiale des pluies par exemple. Le bassin de l'Antenne se trouve isolé dans les relevés pluviométriques. Face à ce problème, l'exploitation des lames d'eau radar de Météo France peut apporter une bien meilleure quantification des apports pluviométriques qu'une donnée ponctuelle d'un ou deux pluviomètres. Le traitement des lames d'eau radar est déjà effectif depuis juillet 2007 sur le bassin de la Garonne.



SOUS-BASSINS	Lame d'eau moyenne (mm/j)
Val d'Aran	6.2
Garonne amont	5.4
Neste	5.9
Salat	5.7
Louge - Arize	3.4
Ariège amont	4.7
Ariège - Lèze	3.9
Hers Vif	7.9
Hers Mort	3.6
Garonne toulousaine	1.8
Touch	1.3
Save	1.8
Gimone	2.2
Tarn amont	4.8
Tarn moyen	3.4
Agout	5.7
Tarn aval	1.8
Aveyron	6.5
Garonne agenaise	1.9
Arrats	2.3
Gers	2.5
Baïse	3.2
Lot amont - Truyère	7.3
Lot aval	5.0
Garonne aval	6.1
Volume total précipité (hm³)	275.45

Figure 22 : Lame d'eau radar des précipitations cumulées sur 24 heures sur le bassin Adour Garonne

4 ETUDE DES SYSTEMES AQUIFERES

4.1 Suivi des nappes :

L'analyse des chroniques piézométriques disponibles sur les piézomètres de Ballans et de Juillers (situés respectivement à l'Est et au Nord-Ouest du bassin à 35 km de distance) permet de mettre en évidence un comportement similaire des variations de ces deux piézomètres. Le graphique suivant illustre ce comportement.

Une étape préalable consiste à amener les valeurs de piézométrie dans des valeurs positives afin de pouvoir utiliser par la suite une fonction logarithmique. Ceci est réalisé en additionnant une valeur de 30 m à la mesure effectué à Ballans (- X m) et qui explique les valeurs positives des niveaux piézométriques. Ce changement d'échelle amène les seuils d'alerte aux valeurs de 6 et 5 m pour les restrictions horaires et de 4 m concernant les restrictions totales).

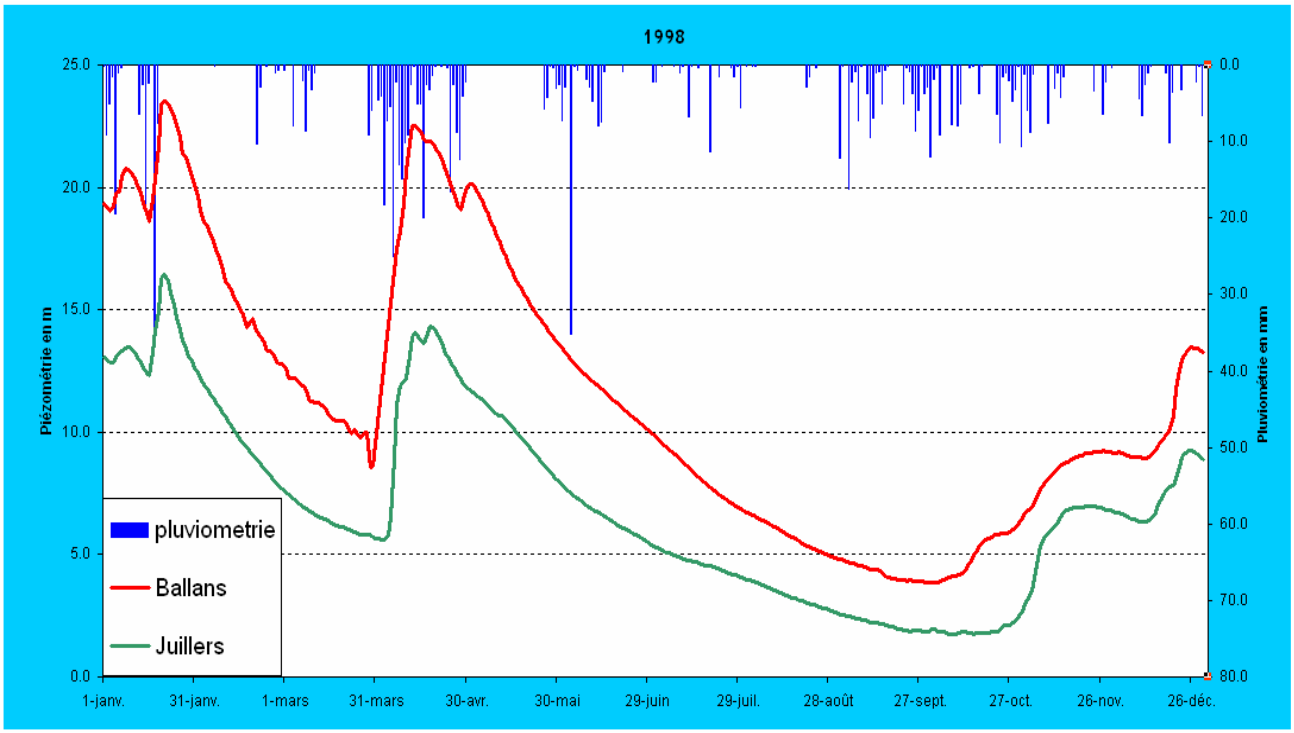


Figure 23 : Niveaux piézométriques à Ballans et Juillers pour l'année 1998.

Il est à noter que des différences peuvent toutefois être observées certaines années. Ces variations peuvent être imputables à la variabilité des précipitations d'une part et peut être à des influences différentes sur ces piézomètres. Etant donné les sens d'écoulements de la nappe, il est très peu probable que le piézomètre de Juillers ne retranscrive pas les variations des niveaux au sein de l'Antenne. Le piézomètre de Ballans est quant à lui sous l'influence de l'Antenne mais également de la Soloire (cours d'eau voisin). Il est donc moins représentatif de la zone d'étude.

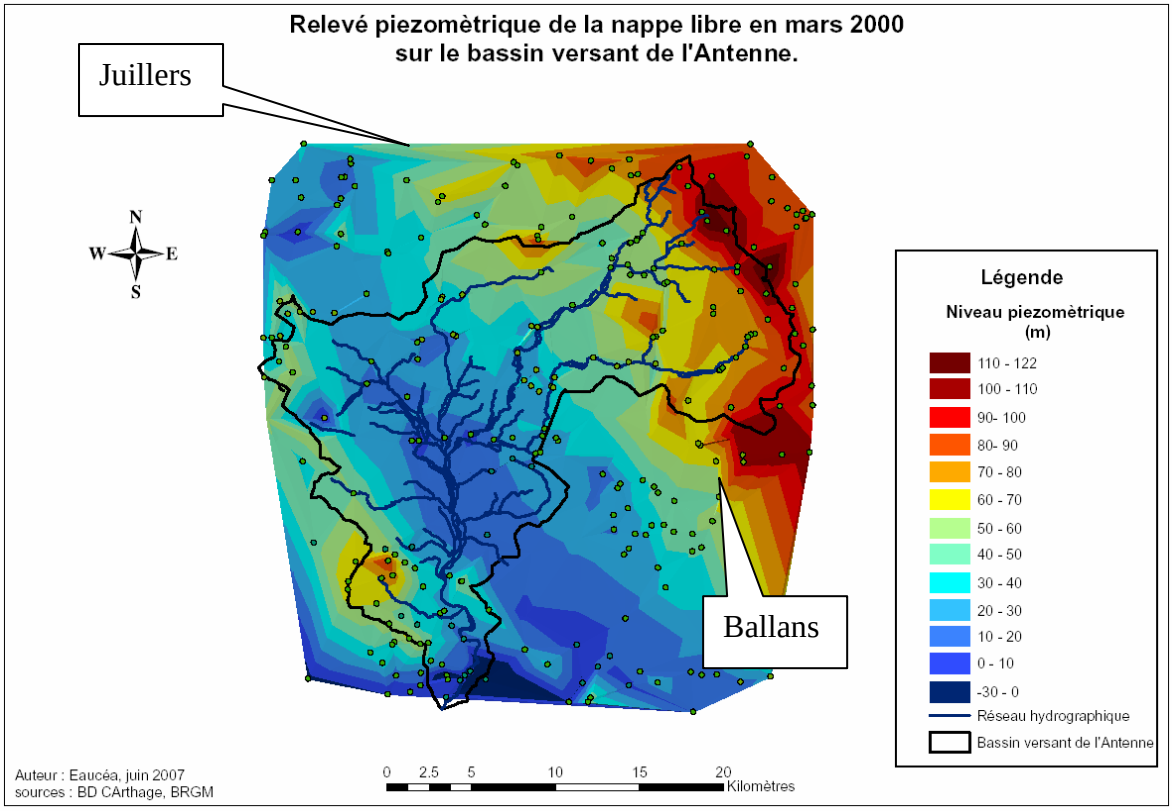


Figure 24 : Carte piézométrique.

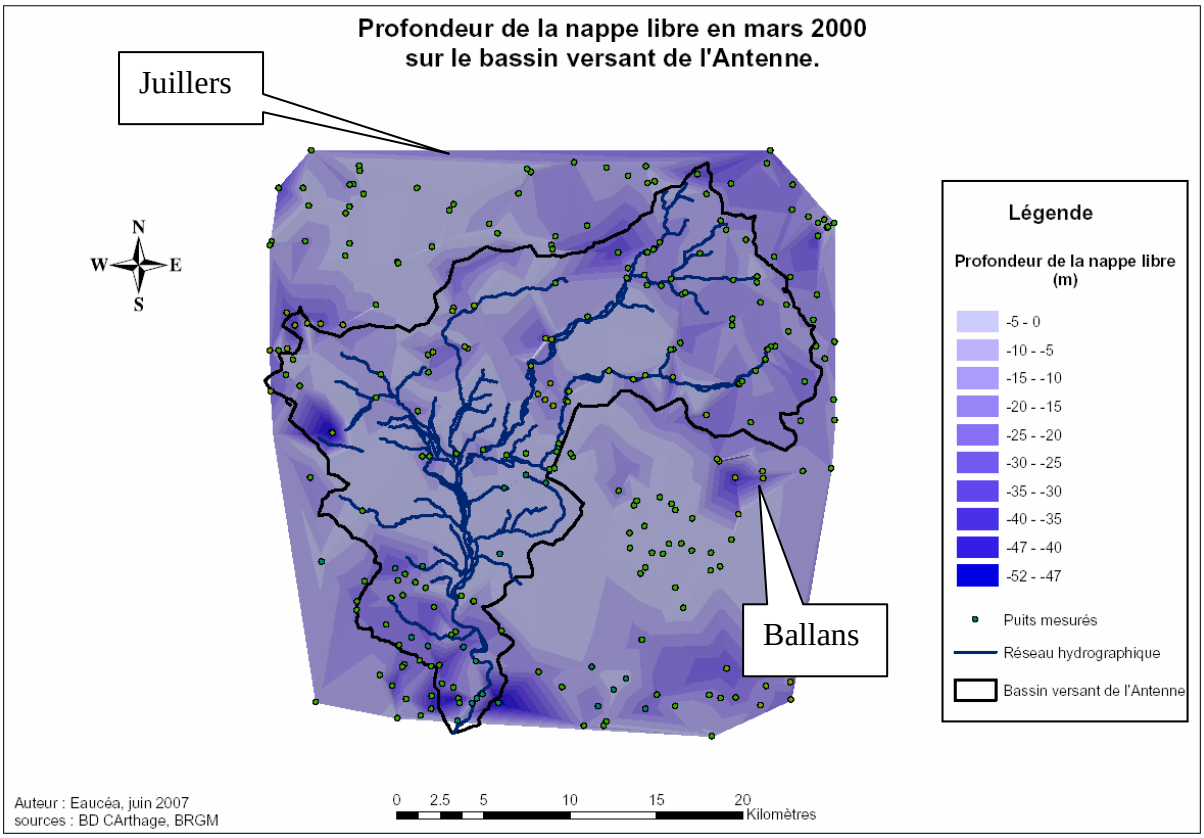


Figure 25: Carte des profondeurs de nappe

Les variations de piézométrie sont fortes et rapides, tout particulièrement pour les recharges de nappe. En effet les niveaux peuvent être rétablis en un peu plus d'un mois seulement (exemple en 1996). Cette recharge ne s'effectue toutefois que lorsque le sol est suffisamment humide pour favoriser l'infiltration (sol saturé et une ETP faible). Ainsi pour des précipitations équivalentes l'impact sur la recharge de la nappe sera totalement différent selon cet état d'humidité (été, hiver). Le graphique illustre la bonne capacité de recharge des aquifères du fait de la capacité d'infiltration très forte des terrains.

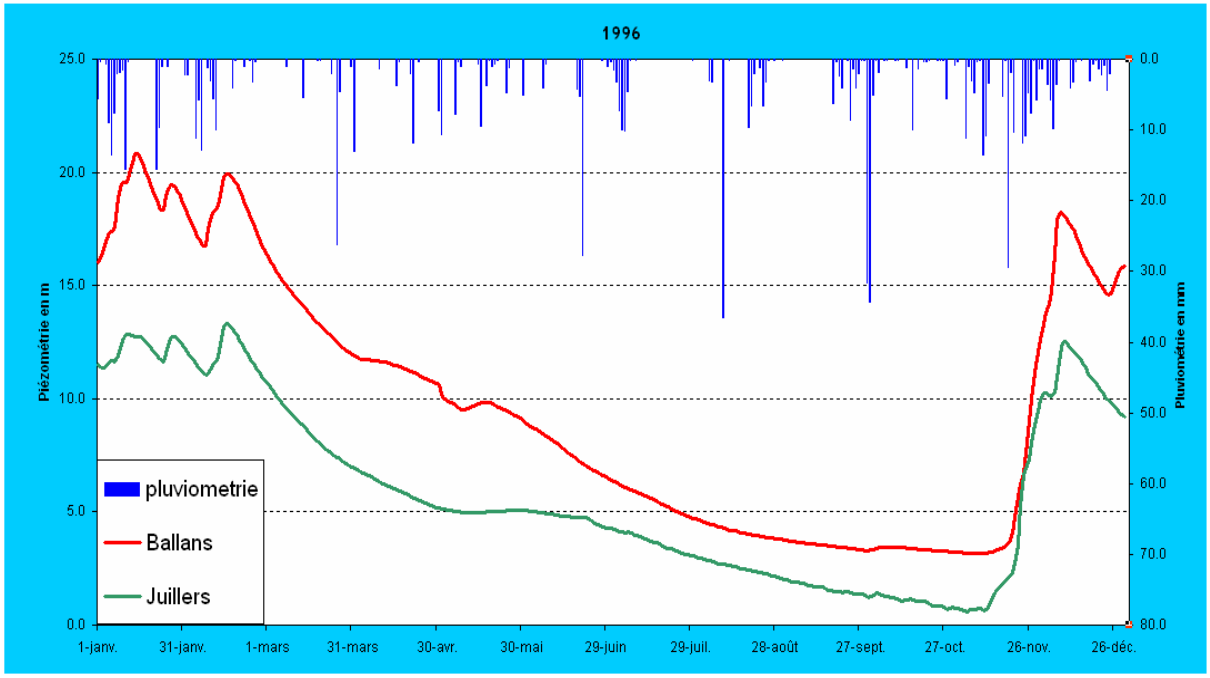


Figure 26 : Niveaux piézométriques à Ballans et Juillers pour l'année 1996.

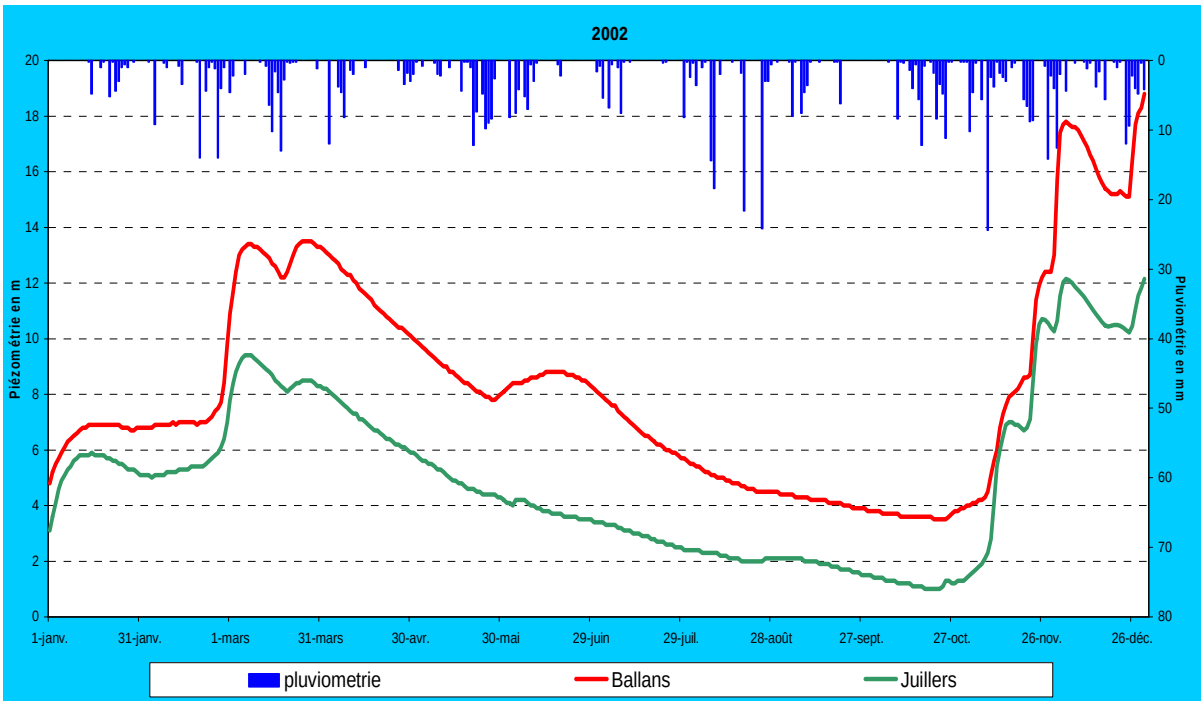


Figure 27 : Niveaux piézométriques à Ballans et Juillers pour l'année 2002.

Ces graphiques soulignent l'importance de la période de recharge des nappes vis-à-vis des niveaux à l'étiage. Du fait de l'inefficacité des précipitations à recharger efficacement les nappes en période estivale, le niveau des nappes fin mai début juin détermine pour beaucoup celui de l'été. Ainsi, les années où le niveau est élevé en mai sont beaucoup moins sévères que les années bénéficiant d'un été pluvieux sans recharge de printemps.

Au vu des chroniques il semblerait que les prélèvements n'impactent pas de manière significative les niveaux de Ballans d'une part mais également de Juillers d'autre part. Ce qui signifie que l'impact des prélèvements sur le **niveau général** de la nappe est très faible. **Toutefois cela ne signifie pas que l'impact des prélèvements sur la ressource en eau du bassin de l'Antenne est inexistant.** Le graphique suivant illustre la constance de la baisse du niveau piézométrique d'une année sur l'autre:

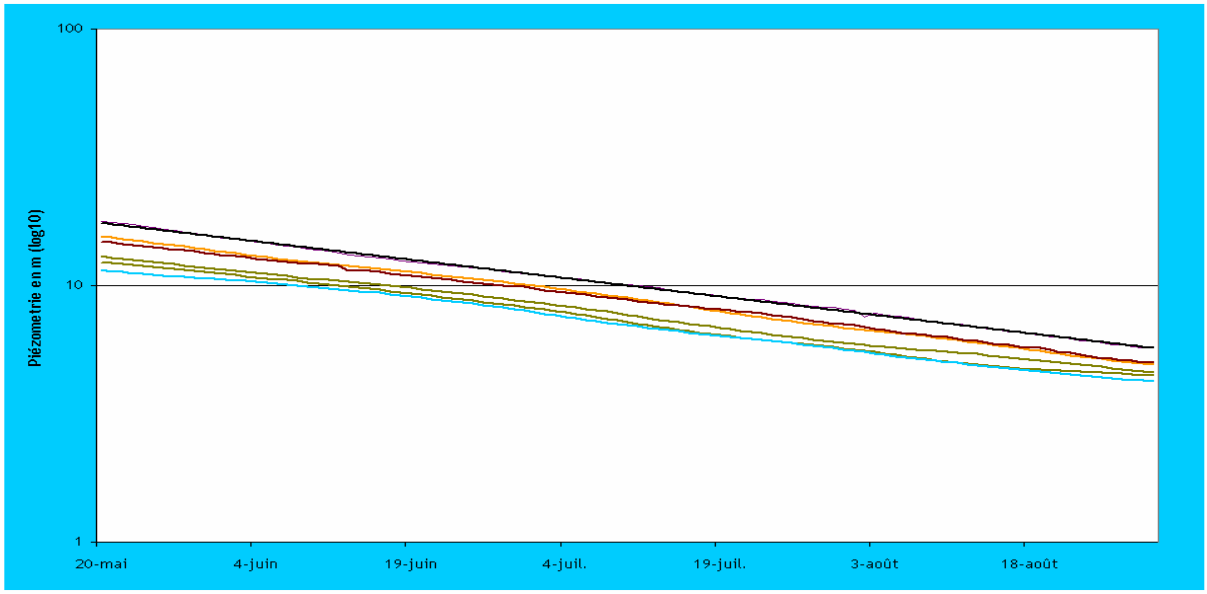


Figure 28 : Ajustement logarithmique des niveaux piézométriques de Ballans.

4.2 Le tarissement

Le concept de tarissement désigne le phénomène de vidange des nappes. En l'absence de pluies, l'évaporation, la transpiration végétale et le drainage par le réseau des cours d'eau superficiels épuisent progressivement les réserves en eau souterraine du bassin versant.

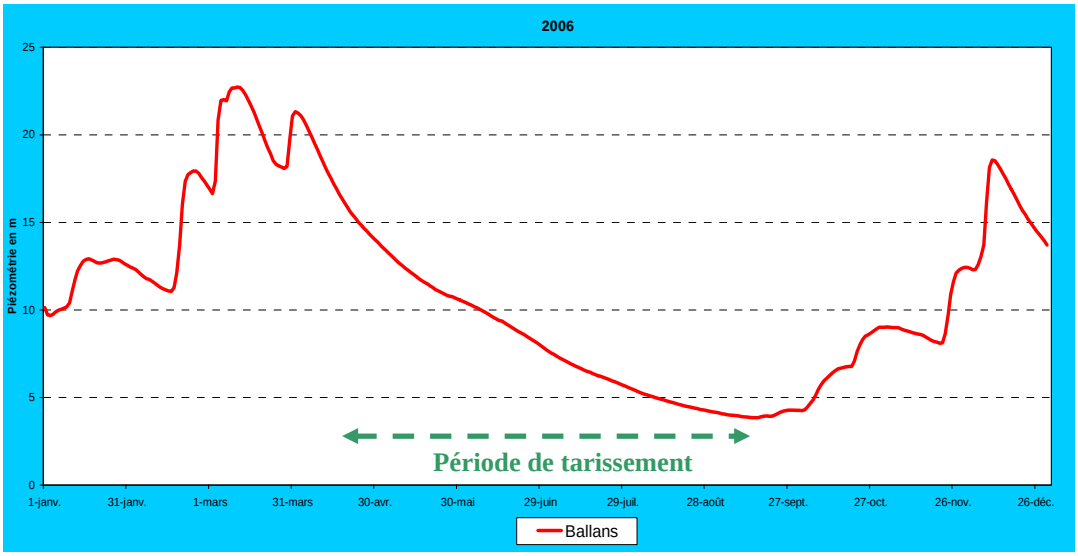


Figure 29 : Visualisation du tarissement de la nappe en 2006 à Ballans.

Le tarissement des aquifères du bassin versant de l'Antenne est, comme nous l'avons vu précédemment, constant d'une année sur l'autre. Ce constat est confirmé par l'absence de variations de la vidange lors de la mise en place des restrictions et même lors de l'arrêt définitif de tous pompages. Ainsi le tarissement se poursuit mais au delà du dernier seuil d'alerte – 26 m (4 m sur le graphique). Autour des valeurs faibles de piézométrie, le tarissement à tendance à diminuer pour changer de loi de vidange. Ceci peut s'expliquer par deux hypothèses :

- le tarissement d'un réservoir ne suit pas parfaitement et pas tout le temps une même loi de vidange.
- les précipitations de début d'automne commencent à recharger la nappe ou tout au moins ralentissent ou stoppe le tarissement.
-

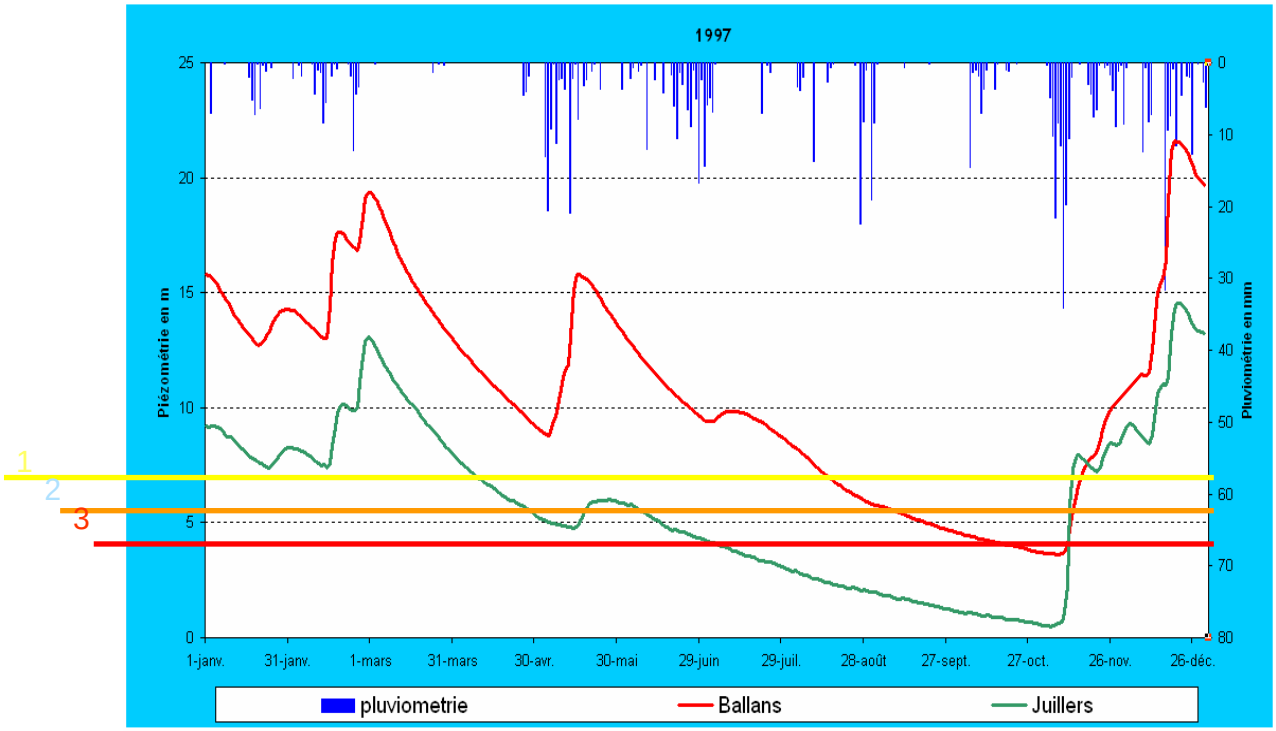


Figure 30 : Illustration de la baisse des niveaux piézométriques au delà des seuils d'alerte de restriction horaire (1 & 2) et total (3).

En revanche il est fort probable que les pompages impactent localement les niveaux de la nappe et donc les niveaux dans les cours de l'Antenne. Etant donné que les pompages sont souvent très proches des rivières, il convient de s'interroger dans quelles mesures les pompages peuvent pénaliser les écoulements dans les cours d'eau. En effet les cônes de rabattement générés par les pompages peuvent être potentiellement la cause de certains assecs observés.

Il conviendra donc à l'avenir d'essayer de recenser les pompages potentiellement dangereux pour le maintien en eau des écosystèmes aquatiques. Ceci pourra se faire à travers des observations de terrain permettant de mettre en relation directe un pompage et une variation des niveaux des cours d'eau lors des jours suivants l'arrêt ou le démarrage d'un pompage.

4.3 Mise en relation Assecs-niveau piézométrique

Les observations menées les deux années passées sur les assecs peuvent nous renseigner sur une possible relation directe entre le niveau piézométrique général (Ballans ou Juillers) et la longueur et localisation des assecs. Les deux années de mesures réalisées permettent d'approcher une corrélation mathématique de ces phénomènes retranscrivant la similitude importante du phénomène sur ces deux années.

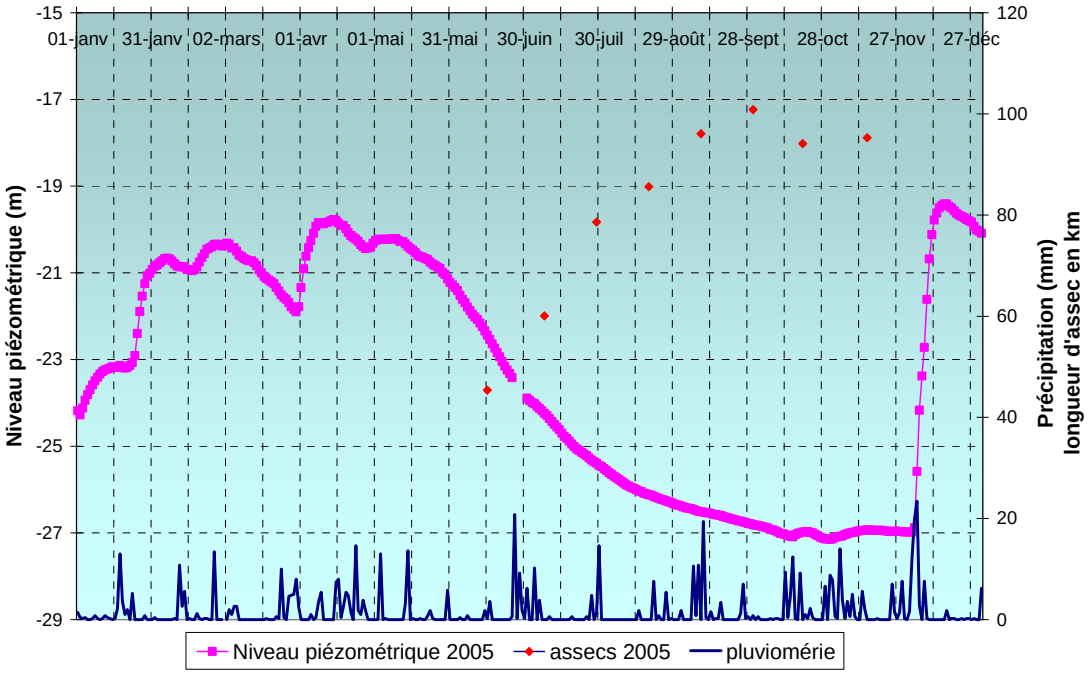


Figure 31 : Relations entre la piézométrie, la pluviométrie et la longueur d'assecs en 2005.

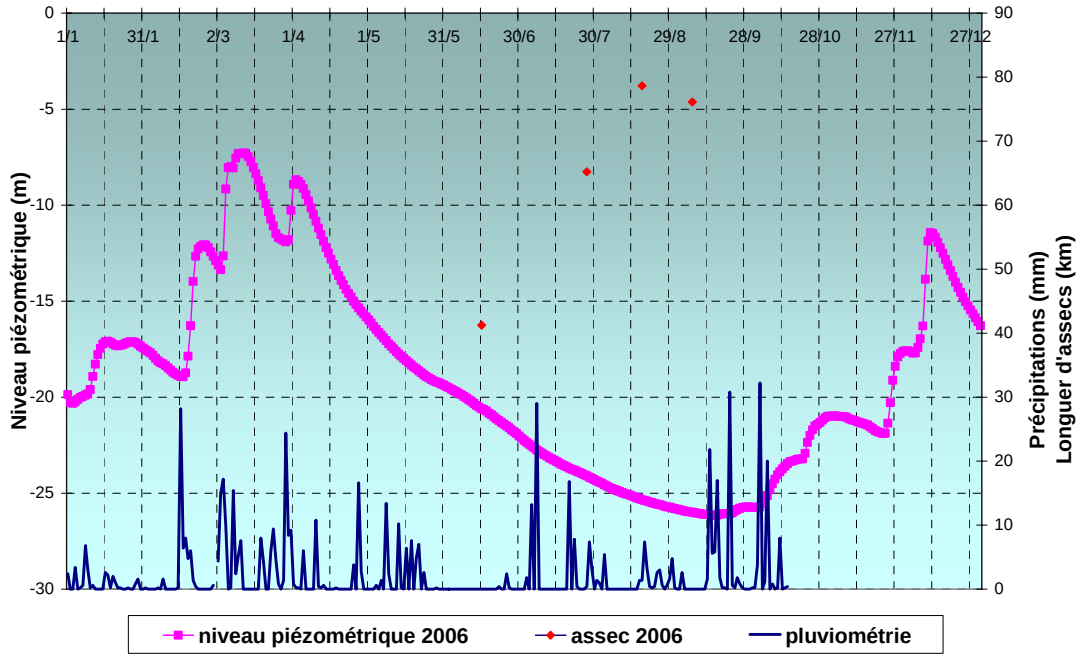


Figure 32 : Relation entre la piézométrie, la pluviométrie et la longueur d'assec en 2006

Le premier constat est qu'au cours des deux dernières années les cours d'eau touchés par des assecs sont les mêmes. De plus l'apparition et la propagation de ces assecs se fait selon une chronologie similaire durant ces deux années.

Ainsi les longueurs de cours d'eau asséchés sont fonction de la piézométrie observée à Ballans, voir annexe 4. Une année supplémentaire d'observation renseignera sur la validité de cette hypothèse.

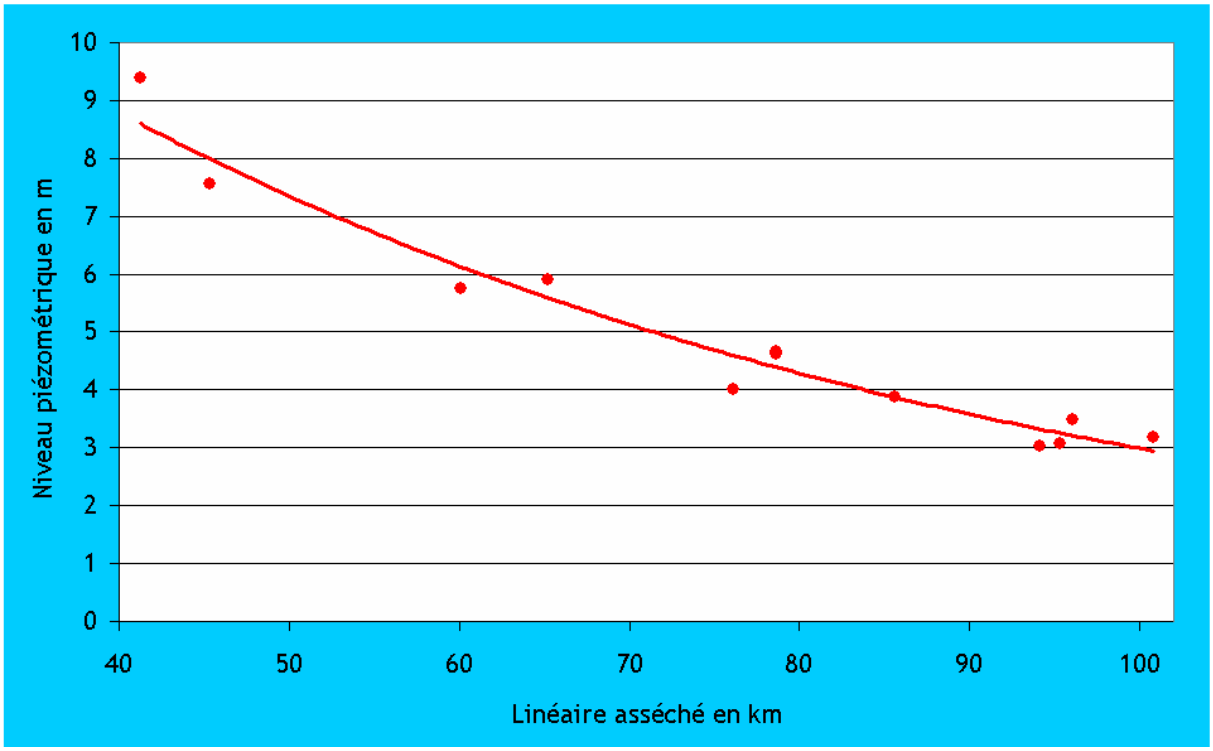


Figure 33 : Présentation des longueurs d'assecs en fonction de la piézométrie.

Les cours d'eau les plus touchés sont situés à l'amont du bassin versant. Les premiers à être affectés sont la Saudrenne et le Briou. Le Dandelot et l'Antenne subissent eux aussi des assecs importants mais un peu plus tard. Il est à noter l'apparition ponctuelle des assecs sur l'Antenne qui témoigne des zones de non affleurement de nappes avec son cours. Ce phénomène s'observe également sur ses affluents et est similaire d'une année sur l'autre.

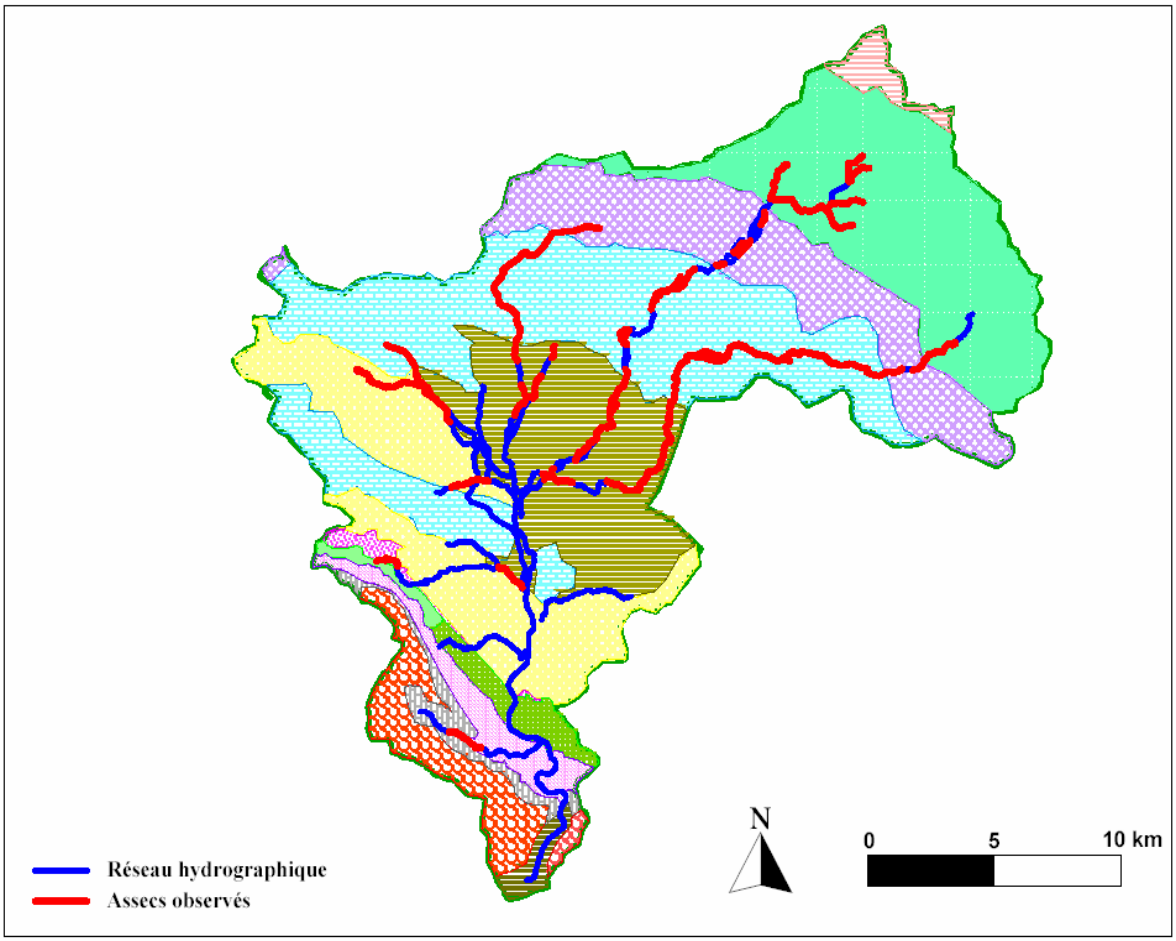


Figure 34 : Carte des cours d'eau asséchés en septembre 2005.

Il a été constaté une apparition des assecs sur le Veyron. En effet, son cours s'est totalement asséché deux fois au cours de l'année passée, alors qu'il ne s'est pas asséché au cours de l'année 2005, qui a pourtant subi un étiage plus sévère. Il semblerait que ces assecs ne soient pas liés au niveau piézométrique général. Des phénomènes similaires, plus ponctuels, sont observables sur des petites portions de cours d'eau. L'hypothèse la plus probable d'explication de ce phénomène est la présence de prélèvements locaux qui impactent les écoulements superficiels.

4.4 La piézométrie, un outil de prévision et de gestion

4.4.1 Méthodologie

L'objectif est de réaliser une simulation du tarissement de la nappe et prévision de franchissement des seuils d'alerte à partir du piézomètre de référence de Ballans.

Le tarissement constant d'une année sur l'autre suit une loi d'ajustement logarithmique. Cette loi peut être approchée par la loi de Maillet :

LOI DE MAILLET

$$Q = Q_0 e^{-\alpha t}$$

$$\alpha = \frac{\ln q_0 - \ln q_1}{t_2 - t_1}$$

Le coefficient alpha, appelé coefficient de tarissement, maximum observé en période d'étiage et correspondant au coefficient de tarissement naturel des nappes est d'environ 0.01. Ce coefficient pourra permettre à l'avenir d'estimer, à partir des niveaux observés au début du tarissement des nappes (fin mai), le niveau minimal possible en septembre. Ce niveau estimé est le niveau en dessous duquel la nappe ne peut descendre dans les conditions actuelles de pression de prélèvement.

L'équation de cette loi peut donc être utilisée pour prévoir les niveaux qui seront atteints durant la période d'étiage et donc de spécifier les dates de franchissement des seuils de restrictions.

Pour une année donnée, il s'agit de repérer (selon la date à laquelle on se situe) une portion de courbe de tarissement continu, non influencée par les précipitations, sur la période la plus longue possible et qui est décrite par une loi de Maillet. On y applique le coefficient alpha d'une valeur proche et arrondie à 0.01 et que l'on considère constant d'une année sur l'autre.

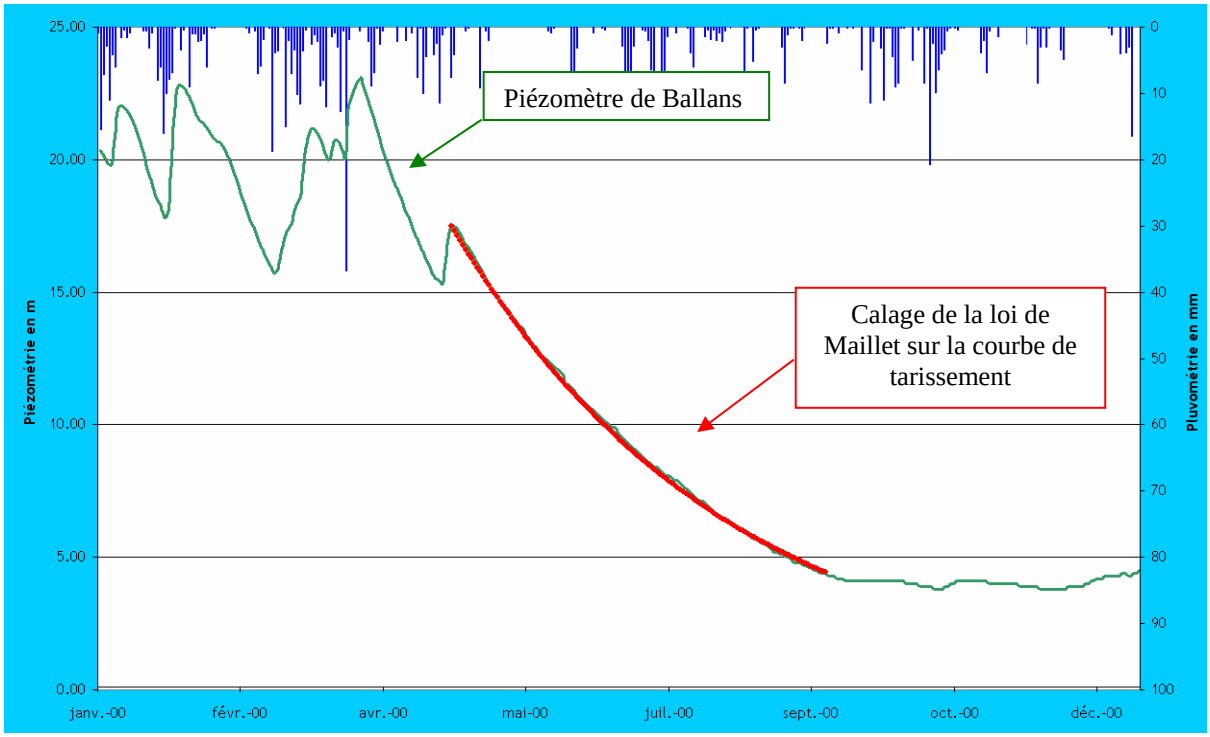


Figure 35 : Approche du tarissement par la loi de Maillet en 2001.

Ensuite, il s'agit d'établir les coefficients de prévision de la manière suivante :

- Alpha 1=alpha + 0.001
- Alpha 2=alpha - 0.001

Ces deux nouveaux coefficients sont censés encadrer les variations du coefficient initial qui pourraient perturber le tracé que poursuivrait le tarissement dans la réalité. Les courbes nouvellement tracées pourraient être assimilées à un intervalle de confiance encadrant la valeur réellement atteinte par le tarissement si le coefficient alpha ne subissait pas de modification au cours du temps (du fait d'une recharge par un événement pluvieux conséquent).

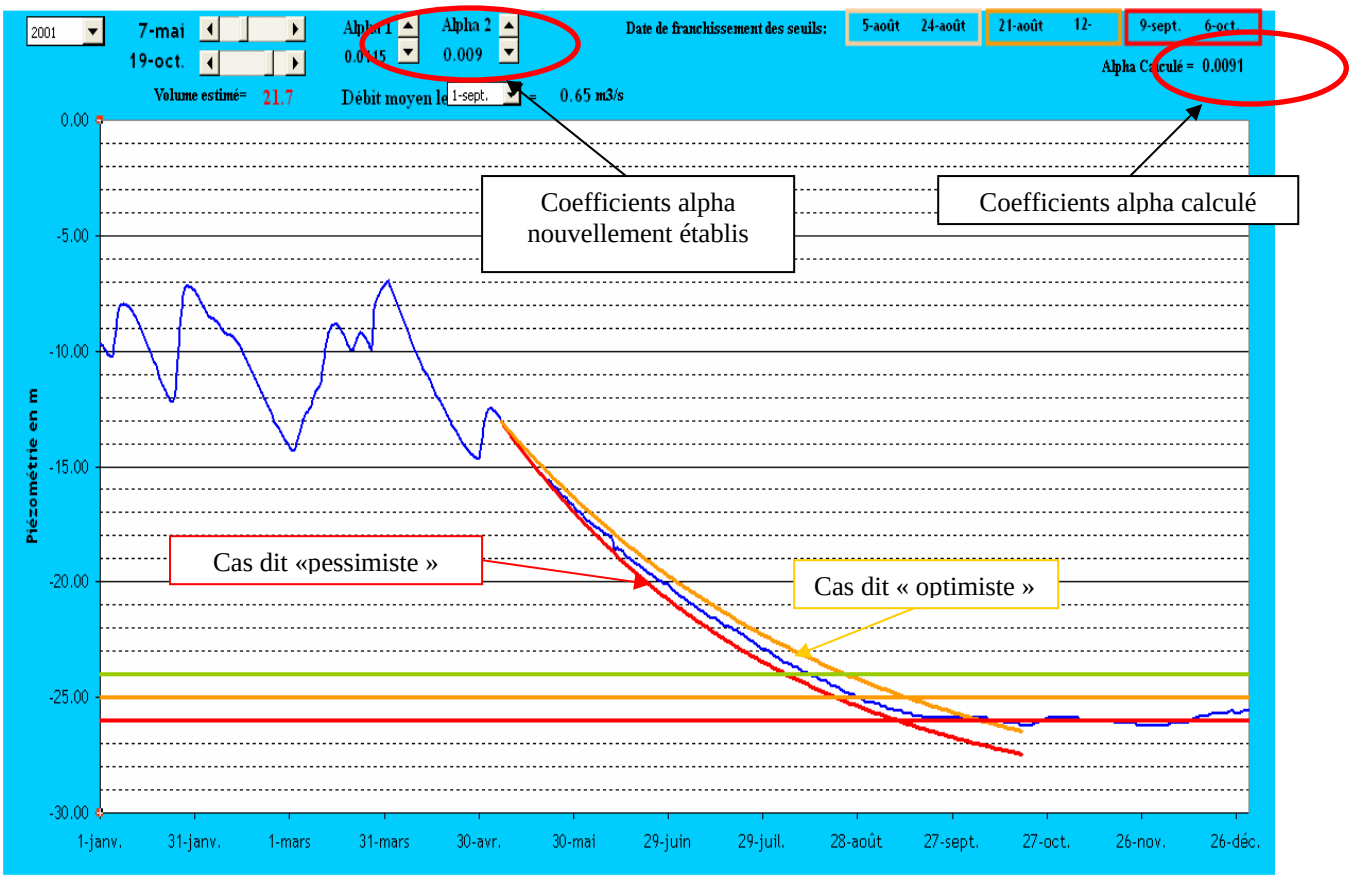


Figure 36 : Exemple des prévisions réalisables à l'aide de la loi de Maillet.

La dernière étape consiste à se placer à l'extrémité de la courbe de vidange (c'est-à-dire au niveau du dernier point piézométrique relevé) et à prolonger les 2 courbes enveloppes. Il s'agit alors de lire les deux dates obtenues pour chaque valeur de seuil franchi successivement par ces deux courbes (soit des profondeurs de la nappe correspondant à des valeurs de -24 m, - 25 m et de - 26 m à la station de Ballans).

Ceci permet d'obtenir les dates avant lesquelles les seuils ne seront pas franchis et dans le cas le plus contraignant, à savoir sans recharge.

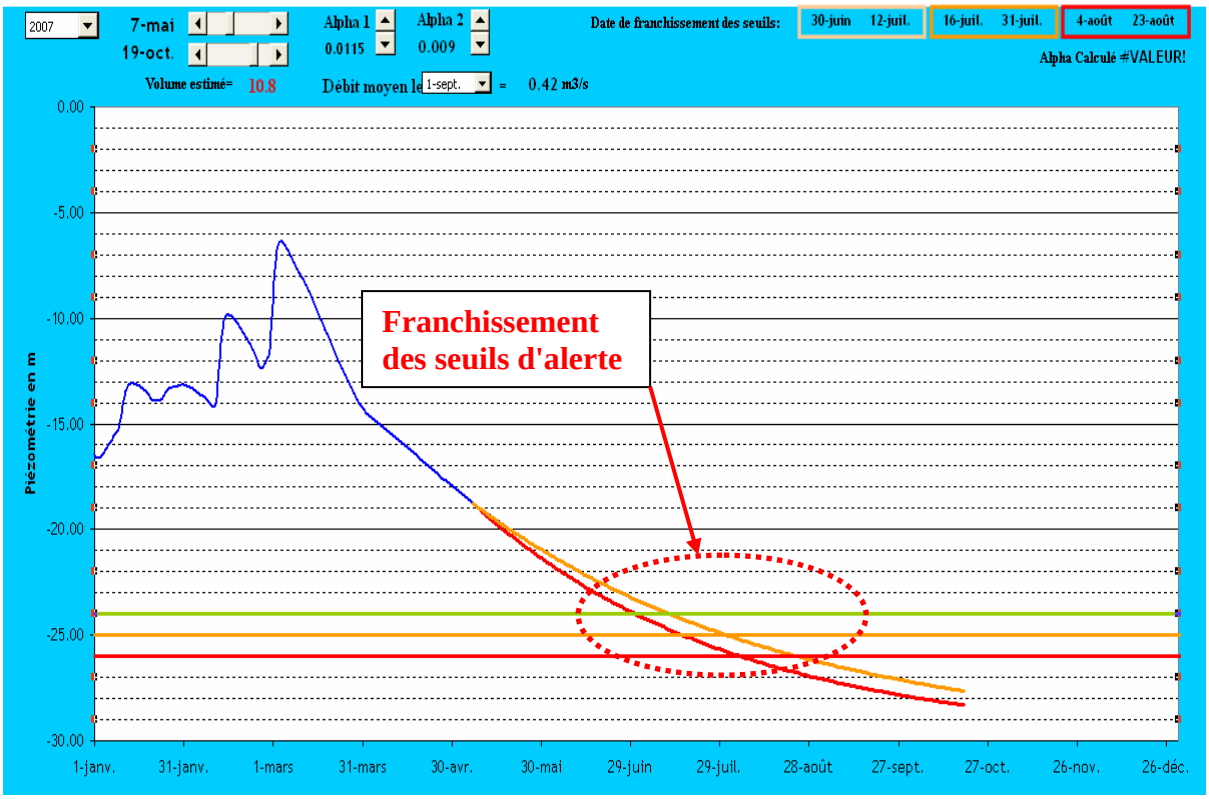


Figure 37 : Prévisions pour l'année 2007.

Ainsi pour l'année 2007, au 18 juin, il a été possible de prévoir les dates suivantes d'atteinte des seuils et les annoncer en réunion publique aux gestionnaires.

Seuil	**-24 m**	**-25 m**	**-26 m**
Scénario 1	4-août	20-août	8-sept.
Scénario 2	14-août	2-sept.	25-sept.

Tableau 4: Prévisions de franchissements des seuils pour l'année 2007.

Précision des prévisions :

Le tableau suivant récapitule les incertitudes pour les coefficients alpha utilisés précédemment (0.011 et 0.009) :

Prévisions sur :	2 mois	1.5 mois	1 mois	2 semaines
Incertitudes de :	14 jours	10 jours	7 jours	3 jours

Tableau 5 : Incertitudes liées à la prévision.

Domaine de validité :

Le coefficient de tarissement et la prévision associée doivent être appliqués sur des hauteurs piézométriques comprises entre -15 m et -26 m (seuil de restriction totale). En dehors de cet intervalle de valeurs, les phénomènes sont moins facilement prévisibles par la seule loi de Maillet, car d'autres interactions entre en jeu.

Critique de la méthode :

Cette méthode permet de prévoir les cas les plus pessimistes, c'est-à-dire sans recharge estivale. La seule loi de Maillet ne permet pas d'évaluer l'impact de potentielles recharges. De plus quand une recharge est observée, il est assez difficile de réévaluer un tarissement avant une stabilisation de la vidange qui nécessite une période d'environ trois semaines.

4.4.2 Mise en relation du remplissage du réservoir P du modèle CycleauPE, avec les niveaux piézométriques de Ballans et de Juillers.

Il a été constaté précédemment que, dans la modélisation, le réservoir P décrit les écoulements sur le BV de l'Antenne et retranscrit ainsi l'impact de la nappe sur les écoulements de surface. Il a également été observé que les variations de hauteurs d'eau dans le réservoir P sont fortement corrélées à ce qui peut être visualisé aux piézomètres de Ballans et Juillers : niveau bas pratiquement constant, présence d'une recharge hivernale…

Ne disposant pas des mêmes années concernant les relevés pluviométriques de Matha et les relevés piézométriques, nous avons fait le choix de simuler un remplissage du réservoir à l'aide des données pluviométriques de Cognac disponibles.

Le graphique suivant représente, pour l'année 1998, la piézométrie observée à Ballans et Juillers d'une part, et les hauteurs d'eau simulées dans le réservoir P d'autre part.

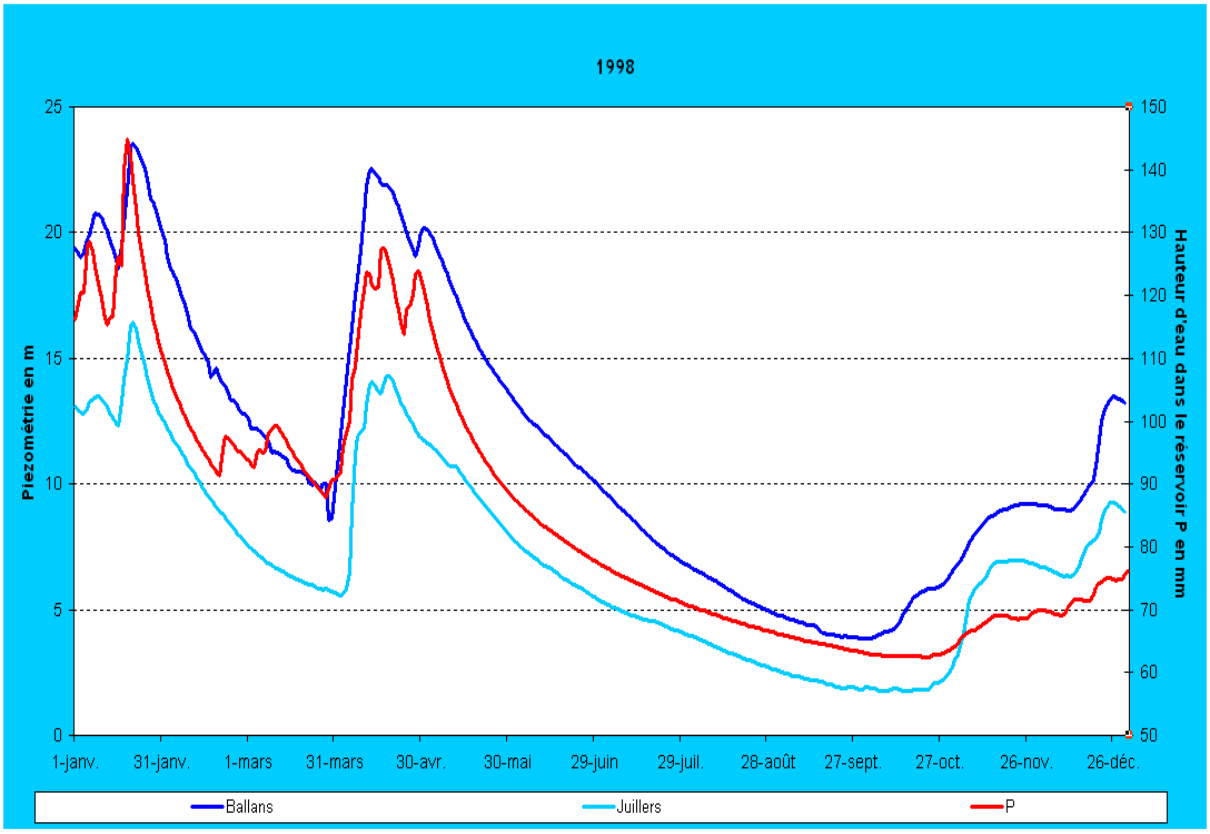


Figure 38 : Comparaison de la piézométrie et des hauteurs d'eau dans le réservoir P en 1998.

Cette similitude permet de valider le choix des paramètres de calage retenus pour le modèle CycleauPE et met en évidence la similitude physique existant entre le modèle et le fonctionnement du bassin versant.

A partir de ce constat il est possible d'établir une relation entre hauteur piézométrique à Ballans et la contribution des aquifères, au débit à l'exutoire. Pour ce faire il faut convertir les variations piézométriques observées à Ballans en mm d'eau correspondant à la variation de hauteur d'eau dans le réservoir P du modèle CycleauPE. A partir de cette étape, la loi de vidange du réservoir P, telle qu'elle a été calée précédemment, est appliquée à la piézométrie convertie. Il est ainsi possible d'estimer les débits de l'Antenne fournis par les aquifères en période de tarissement.

Ces prévisions permettent donc d'évaluer la situation de fin d'étiage la plus critique possible à partir du niveau piézométrique établi à Ballans.

4.5 Estimation des volumes d'eau stockables dans les nappes

4.5.1 Objectif

La détermination des volumes disponibles durant la période d'étiage est un élément très important pour une bonne gestion des prélèvements. Plusieurs approches peuvent permettre d'approcher les quantités d'eau mise en jeu. Dans cette partie seront exposés les éléments qui permettent d'estimer le volume utile des nappes au sein du bassin versant de l'Antenne.

4.5.2 Bilan des volumes sortant

Dans ce contexte un bilan des volumes mis en jeu a été réalisé. Ce bilan prend en compte les volumes sortant du système aquifère entre le début et la fin du tarissement.

Le modèle CycleauPE a permis de simuler le fonctionnement du bassin versant et de mieux comprendre l'origine de l'eau mobilisée à l'exutoire. Ainsi il est possible d'estimer les volumes, provenant des aquifères, écoulés dans l'Antenne. Ce volume est donné par la somme des débits vidangés du réservoir P entre un niveau piézométrique haut et un niveau bas. Les périodes retenues pour ce calcul sont des périodes durant lesquelles la pluviométrie est très faible et en période estivale. Ainsi la recharge peut être considérée comme nulle. Cette situation a pu être observée pour les années 1998, 1999 et 2001. Les résultats sont les suivants :

Année	Niveau haut	Niveau bas	Volume calculé en hm^3
1998	-7.5	-26.1	25
1999	-14	-26	14
2001	- 12 .6	-25.2	20

Tableau 6 : Volumes en fonction de la hauteur.

Ces volumes sont ceux écoulés dans l'Antenne et ne sont donc pas les volumes disponibles dans les aquifères. Un volume supplémentaire de prélèvements est à prendre en considération. Les chiffres précis sont inconnus pour les années considérées; on sait toutefois que les prélèvements durant l'étiage s'échelonnent, selon les années, entre 3 et 7.5 millions de m^3.

A ce volume doit être ajouté le volume qui s'écoule directement dans la Charente, sans transiter par l'Antenne. En effet la piézométrie générale montre un gradient vers la Charente qui constitue l'exutoire du système. Même si ce volume est très difficile à estimer du fait de la connaissance imprécise de l'hydrogéologie, il peut être approché par un calcul à l'aide d'une loi de Darcy:

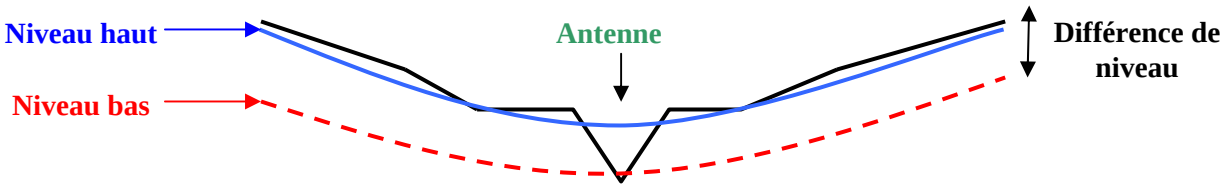
$$Q = S \times K \times \frac{\Delta H}{L}$$

Avec:
S: section d'écoulement en m^2
K: Conductivité hydraulique en $m.s^{-1}$
$\frac{\Delta H}{L}$: Le gradient Hydraulique en $m.m^{-1}$

En considérant un écoulement sur 30 km de large et 5 mètres de hauteur et une conductivité hydraulique de 10^{-3} $m.s^{-1}$, le volume écoulé durant une période de tarissement est d'environ 3 à 4 millions de m^3. Cette valeur est obtenue en considérant une circulation uniquement vers la Charente, or il n'est pas impossible qu'une partie de l'eau s'infiltre vers les réservoirs plus profonds.

4.5.3 Variation de la piézométrie générale

Une autre approche peut être utilisée pour estimer le volume utile des nappes. Elle consiste à évaluer directement le volume compris entre la surface piézométrique niveau haut et la surface piézométrique niveau bas.



La surface piézométrique niveau haut a été réalisée le 4 et 5 mai 2007 et n'est donc pas la piézométrie la plus haute possible sur l'Antenne mais celle correspondante à un niveau de 57.08 m NGF (Nivellement Général de la France) au piézomètre de Ballans (-18.25).

La piézométrie de niveau bas disponible est celle réalisée par le BRGM (Bureau de Recherches Géologiques et Minières) du 21/10/1998 au 12/11/1998 et ne correspond pas aux niveaux les plus bas de piézométrie des nappes mais à un niveau moyen de 52.6 m NGF à Ballans. Le niveau maximum moyen durant les onze dernières années est 65.98 m NGF à Ballans et le niveau minimum moyen de 45.9 m NGF.

De plus, la campagne niveau bas réalisée ne couvre pas l'intégralité du territoire mais essentiellement le "pays bas" et les alentours. Dans cette zone de marais, les variations piézométriques annuelles sont nulles.

La différence de piézométrie n'est donc calculée que sur cette zone qui couvre 260 km², l'extrapolation faite pour couvrir l'intégralité du territoire sous estime donc largement le volume réel compris entre niveau haut et niveau bas.

Le volume obtenu, en multipliant la différence de niveau par la surface, est un volume de sol utile au stockage de l'eau. Pour obtenir le volume d'eau réel il faut le multiplier par une porosité moyenne. Ce chiffre n'est pas connu pour les aquifères de la zone et doit donc être estimé à partir des connaissances de la géologie et de l'analyse de la recharge. Il n'est en aucun cas une valeur exacte mais son estimation permet d'approcher les ordres de grandeur mis en jeu.

4.5.4 Estimation de la porosité moyenne

A partir de l'analyse d'une recharge il est possible d'estimer cette valeur. L'objectif est de pouvoir attribuer une remontée observée suite à des d'événements pluvieux. C'est-à-dire qu'il faut observer une réponse immédiate et nette à une série d'événements pluvieux consécutifs et isolés. Cette situation est approchée une fois entre le 17 novembre 1996 et le 8 décembre, où 113.8 mm cumulés ont généré une remontée de nappe de 14.85 m. On peut donc estimer la porosité à 0.8%. Etant donné la nature des terrains ce chiffre est très faible.

Avec ce chiffre de porosité le volume stocké sur le secteur de "pays bas" serait de 10 millions de m^3, et de 18 millions sur l'ensemble du BV par extrapolation en fonction de la surface. Les 10 millions de m^3 stockés au niveau du pays bas sont assez bien approchés. En revanche les 18 millions de m^3 pour l'ensemble du bassin versant sont sûrement largement sous estimés du fait de la mauvaise représentativité des variations piézométriques dans les zones de marais pour l'ensemble de la zone.

4.5.5 Bilan sur l'étude des systèmes aquifères du bassin de l'Antenne.

Le système micro karstique dont fait partie le bassin de l'Antenne démontre sa complexité quant à l'approche des écoulements et l'évaluation des volumes souterrains. Une campagne piézométrique niveau bas avec un maillage plus serré que celui utilisé par le BRGM, couplé à une estimation de la porosité moyenne plus précise, permettrait d'apporter plus de précision.

L'élément caractéristique qui ressort de cette étude piézométrique est la relation étroite liant les débits des rivières au niveau des nappes. Cette relation particulière confère l'avantage, pour ce bassin, de pouvoir établir des indicateurs de gestion supplémentaires. On peut supposer que même si les prélèvements agricoles ne semblent pas impacter le niveau général des nappes, une perturbation locale des écoulements est très probable et doit influencer les volumes transitant vers les rivières. Le suivi des assecs des cours d'eau, mis en place depuis l'été 2005, permettra à long terme d'affiner les corrélations mises en évidence et d'évaluer si une variation des prélèvements modifie la localisation et la longueur de ces assecs.

Conclusion

L'objectif de cette étude était de comprendre le fonctionnement hydrologique général du bassin de l'Antenne et de voir dans quelles mesures l'aménagement du territoire pouvait contribuer à une meilleure gestion des crues. Même si le manque de données sur les débits en période de crue n'a pas permis de valider totalement le calage du modèle CycleauPE, il ressort de cette étude une importance majeure des écoulements souterrains pour les écoulements superficiels. L'objectif de modélisation du ruissellement de surface aura permis de démontrer le caractère minoritaire du ruissellement dans les écoulements de surface sur ce bassin.

Après la mise en relief de ces résultats et devant un objectif d'écrêtement des pics de crues, il y a donc lieu à réfléchir à des aménagements hydrauliques permettant un ralentissement dynamique efficace sur l'ensemble des événements pouvant se dérouler au cours de l'année. Ceci devra passer par une reconstitution des débits de crues, la validation d'un modèle et donc par l'acquisition de données fiables en période de crue.

Bibliographie

Sites Internet

http://www.ades.eaufrance.fr/
http://infoterre.brgm.fr/eSIG/index.jsp
http://www.observatoire-environnement.org/OBSERVATOIRE/
http://www.eau-adour-garonne.fr
http://www.fleuve-charente.net
http://www.symba.fr
http://www.sir-poitou-charentes.org
http://www.cemagref.fr
http://erosion.orleans.inra.fr/rapport2002/Cartes

Thèses

CAUBEL V., 2001. *Influence de la haie de ceinture de fonds de vallées sur la dynamique de l'eau et des solutés à son voisinage*. Thèse de doctorat de l'ENSA, Rennes.

NADAUD H., 1987, *Le portlandien des Charentes entre Saint-Jean d'Angely, Rouillac et Cognac. Etude hydrogéologique et hydrogéochimique.* Université Bordeaux 1

FERRAND A., 1978, *Contribution à l'étude géologique et hydrogéologique du Jurassique supérieur de la région de Matha et Romazières (Charente Maritime),* Université Bordeaux1

LECHENE S., 2002. *Remembrement et ruissellement en Seine Maritime. Utilisation d'un outil de modélisation : STREAM. Application au bassin versant de Flamets-Frétils – Seine Maritime.* Mémoire de fin d'étude de l'ESGT, 80 p.

SQUARCIONI P., 1976, *Contribution à l'étude géologique et hydrogéologique de la région de l'Estuaire de la Charente (entre Saint Savinien et l'Ile d'Aix),* Université Bordeaux 1

SOUCHERE V., 1995. *Modélisation spatiale du ruissellement à des fins d'aménagement contre l'érosion de talweg. Application à des petits Bassins Versants en Pays de Caux (Haute Normandie).* Thèse de l'INA-PG, 201 p.

VIAUD V., 2004. *Organisation spatiale des paysages bocagers et flux d'eau et de nutriments. Approche empirique et modélisations.* Thèse de Doctorat de l'ENSA, Rennes

Rapports

BRGM, 2000. *Gestion quantitative des eaux souterraines en Poitou-Charentes, Phase 3 du contrat de plan Etat-Région*

CERDAN O., 2001. *Analyse et modélisation du transfert des particules solides à l'échelle de petits bassins versants cultivés*. Thèse réalisée à l'INRA et présentée à l'université d'Orléans. 186 p.

CERDAN O., SOUCHERE V., LECOMTE V., COUTURIER A., LE BISSONAIS Y., 2001. *Incorporating soil surface crusting processes expert-based runoff model: Sealing and Transfer by Runoff and Erosion related to Agricultural Management*. CATENA 46, p189-205.

CPER 200-2006 Phase 2, *Construction d'outils d'aide à la décision pour la gestion de l'aquifère du Turonien – Cognacien*, rapport provisoire, BRGM/RP-52861-FR, Septembre 2004

LE BISSONAIS Y., THORETTE J., BARDET C., DAROUSSIN J., 2002. *L'érosion hydrique des sols en France*. Rapport de l'INRA et de l'IFEN.

Annexes

Annexe 1 : Fiches pédologiques

(Source : http://www.sir-poitou-charentes.org)

Terrasses calcaires de la Charente

Indications générales:

Définition: Matériau limono-argileux à sablo-limoneux, saturé, sain à peu hydromorphe, profond, à nombreux
galets de quartz et de calcaire.
Localisation dans le paysage: replats
Nature de la roche-mère: grave

Caractéristiques fondamentales (physiques, chimiques):

Réserve Utile: 50-100 mm **PH:** 6,5-7,5
Profondeur: 40-80 cm **CEC:** 15-25 meq/100g
Pierrosité: 20-25 % **MO:** 2-3%
Nature des cailloux: galets de calcaire et de
Quartz **CaCO3 total:** 0-60%
Texture: limono-argileuse à sablo-limoneuse **Taux d'argile:** 5-25 %
Nature des argiles: divers
Battance: faible **Fourniture en éléments chimiques:**
moyenne
Hydromorphie: faible (saturation) à nulle
Caractéristiques et potentialités agronomiques:
Grandes cultures: Sols se réchauffant rapidement, peu hydromorphes, avec des problèmes de portance.
Irrigation obligatoire sur maïs
Viticulture: Précocité normale à faible, vigueur moyenne, risque de chlorose faible

Modes probables de circulation de l'eau:

Obstacles probables à l'infiltration: roche indurée

	Hiver	Printemps
Infiltration	100 %	75 %
Ruissellement		25 %
Ruissellement hypodermique		

Remarques: unité hétérogène au niveau de la profondeur de sol, de la quantité de galets, de l'épaisseur de la couche argileuse et de la texture.

Terres lourdes du Pays Bas

Indications générales:

Définition: sols argileux, calcaires, profonds, hydromorphes sur marne et calcaire
Localisation dans le paysage: plateaux
Nature de la roche-mère: marne à dalles calcaires ou argile lourde
Caractéristiques fondamentales (physiques, chimiques):
Réserve Utile: 125-150 mm **PH:** 7-8
Profondeur: 50-60 cm **CEC:** 20-40 meq/100g
Pierrosité: 0-10 % **MO:** 4%
Nature des cailloux: calcaires **CaCO3 total:** 0-30%
Texture: argileuse **Taux d'argile:** 30-60 %
Nature des argiles: illite
Battance: nulle **Fourniture en éléments chimiques:** bonne
Hydromorphie: forte

Caractéristiques et potentialités agronomiques:

Grandes cultures: sol se réchauffant lentement avec des problèmes de portance l'hiver. Les cultures d'hiver et de printemps sont parfois difficiles à implanter
Viticulture: Précocité moyenne, vigueur forte. Risque de chlorose moyen. Pas de stress hydrique

Modes probables de circulation de l'eau:

Obstacles probables à l'infiltration: argiles gonflantes

	Hiver	Printemps
Infiltration	75 %	50 %
Ruissellement		
Ruissellement hypodermique		

Remarques: Infiltration lente et engorgement: risque de stagnation d'eau en surface suite à l'imbibition du sol

Vallées calcaires

Indications générales:

Définition: sols alluviaux, de texture variable, calcaires, souvent humifères en surface
Localisation dans le paysage: fonds de vallées
Nature de la roche-mère: alluvions
Caractéristiques fondamentales (physiques, chimiques):
Réserve Utile: 150 (alimentée la par nappe phréatique) mm **PH:** 7-8
Profondeur: 100 cm **CEC:** 15-25 meq/100g
Pierrosité: 0 % **MO:** 2-3%
Nature des cailloux: CaCO3 total: 0%
Texture: très variable **Taux d'argile:** 30-50 %
Nature des argiles:
Battance: Fourniture en éléments chimiques: bonne
Hydromorphie: présente (liée à la nappe phréatique)

Caractéristiques et potentialités agronomiques:

Grandes cultures: sol à forte réserve en eau, souvent cultivé en maïs
Viticulture:
Remarques: hydromorphie variée liée à la nappe plus ou moins profonde

Modes probables de circulation de l'eau:

Obstacles probables à l'infiltration: néant

	Hiver	Printemps
Infiltration	100 %	
Ruissellement		
Ruissellement hypodermique		

Remarques: circulation au printemps: remontées de nappe

Groies de grès

Indications générales:

Définition: sol limoneux sur limon argileux et calcaire peu à moyennement profond
Localisation dans le paysage: bas de coteaux ou sur buttes
Nature de la roche-mère: calcaire oolithique fissuré à très fissuré
Caractéristiques fondamentales (physiques, chimiques):
Réserve Utile: 70-100 mm **PH:** 7-8
Profondeur: 30-50 cm **CEC:** 20-40 meq/100g
Pierrosité: 10-30 % **MO:** 3-4%
Nature des cailloux: calcaires **CaCO3 total:** 15-30%
Texture: limono-argileuse **Taux d'argile:** 15-30 %
Nature des argiles: montmorillonite
Battance: nulle (sensibilité au tassement) **Fourniture en éléments chimiques:** bonne
Hydromorphie: ressuyage lent

Caractéristiques et potentialités agronomiques:

Grandes cultures: implantation des cultures facile. Réchauffement moyen à rapide. Problèmes de portance possibles
Viticulture: Précocité normale. Vigueur moyenne. Risque de chlorose faible mais pouvoir chlorosant fort en profondeur

Modes probables de circulation de l'eau:

Obstacles probables à l'infiltration: néant

	Hiver	Printemps
Infiltration	100 %	75 %
Ruissellement		
Ruissellement hypodermique		25 %

Groie moyennement profonde

Indications générales:

Définition: sur calcaire ou marne. Limon argileux à charge en cailloux calcaires variable
Localisation dans le paysage: plateaux et coteaux
Nature de la roche-mère: calcaire dur fissuré
Caractéristiques fondamentales (physiques, chimiques):
Réserve Utile: 70-100 mm **PH:** 7,2-8,2
Profondeur: 25-40 cm **CEC:** 20-40 meq/100g
Pierrosité: 25-35 % **MO:** 3-7%
Nature des cailloux: calcaires **CaCO3 total:** 30%
Texture: argilo-limoneuse **Taux d'argile:** 20-35 %
Nature des argiles: illite
Battance: nulle **Fourniture en éléments chimiques:** bonne
Hydromorphie: nulle

Caractéristiques et potentialités agronomiques:

Grandes cultures: terres bien pourvues en éléments minéraux, faciles à travailler, se réchauffant rapidement. Sensibilité à la sécheresse moyenne: irrigation conseillée en maïs
Viticulture: vigueur moyenne. Précocité normale à bonne. Risque de chlorose moyen à élevé. Utilisation de porte-greffes résistants à évaluer suivant le risque de chlorose spécifique du lieu
Remarques: forte teneur en calcaire: cultures acidophiles (lupin, poirier, pin, châtaigner, …) difficiles

Modes probables de circulation de l'eau:

Obstacles probables à l'infiltration: néant

	Hiver	Printemps
Infiltration	100 %	100 %
Ruissellement		
Ruissellement hypodermique		

Remarques: sol en général très sensible à la lixiviation

Groie hydromorphes

Indications générales:

Définition: sols argileux, calcaires, profonds, hydromorphes sur marne et calcaire
Localisation dans le paysage: plateaux
Nature de la roche-mère: marne à dalles calcaires ou argile lourde
Caractéristiques fondamentales (physiques, chimiques):
Réserve Utile: 125-150 mm **PH:** 7-8
Profondeur: 50-60 cm **CEC:** 20-40 meq/100g
Pierrosité: 0-10 % **MO:** 4%
Nature des cailloux: calcaires **CaCO3 total:** 0-30%
Texture: argileuse **Taux d'argile:** 30-60 %
Nature des argiles: illite
Battance: nulle **Fourniture en éléments chimiques:** bonne
Hydromorphie: forte

Caractéristiques et potentialités agronomiques:

Grandes cultures: sol se réchauffant lentement avec des problèmes de portance l'hiver. Les cultures d'hiver et de printemps sont parfois difficiles à implanter
Viticulture: Précocité moyenne, vigueur forte. Risque de chlorose moyen. Pas de stress hydrique

Modes probables de circulation de l'eau:

Obstacles probables à l'infiltration: argiles gonflantes

	Hiver	Printemps
Infiltration	75 %	50 %
Ruissellement		
Ruissellement hypodermique		

Remarques: Infiltration lente et engorgement: risque de stagnation d'eau en surface suite à l'imbibition du sol

Groie superficielle

Indications générales:

Définition: sols argilo-limoneux sur calcaire dur, à nombreux cailloux calcaires.
Localisation dans le paysage: versants et coteaux
Nature de la roche-mère: calcaire dur fissuré ou calcaire marneux à dalles calcaires
Caractéristiques fondamentales (physiques, chimiques):
Réserve Utile: 50-75 mm **PH:** 8
Profondeur: 0-25 cm **CEC:** 20-40 meq/100g
Pierrosité: 30-50 % **MO:** 4%
Nature des cailloux: calcaires **CaCO3 total:** 20-40%
Texture: argilo-limoneuse **Taux d'argile:** 30 %
Nature des argiles: illite
Battance: nulle **Fourniture en éléments chimiques:** bonne
Hydromorphie: nulle

Caractéristiques et potentialités agronomiques:

Grandes cultures: terres bien pourvues en éléments minéraux, faciles à travailler, se réchauffant rapidement. Sensibilité à la sécheresse forte
Viticulture: vigueur moyenne à faible. Précocité bonne. Risque de chlorose moyen à élevé. Utilisation de porte-greffes résistants à évaluer suivant le risque de chlorose précis du lieu considéré
Remarques: forte teneur en calcaire: cultures acidophiles (lupin, poirier, pin, châtaigner) difficiles

Modes probables de circulation de l'eau:

Obstacles probables à l'infiltration: néant

	Hiver	Printemps
Infiltration	100 %	100 %
Ruissellement		
Ruissellement hypodermique		

Remarques: sol en général très sensible à la lixiviation

Doucins calcaires ou groisailles

Indications générales:

Définition: sol limoneux sur limon argileux et calcaire peu à moyennement profond
Localisation dans le paysage: bas de coteaux ou sur buttes
Nature de la roche-mère: calcaire oolithique fissuré à très fissuré
Caractéristiques fondamentales (physiques, chimiques):
Réserve Utile: 70-100 mm **PH:** 7-8
Profondeur: 30-50 cm **CEC:** 20-40 meq/100g
Pierrosité: 10-30 % **MO:** 3-4%
Nature des cailloux: calcaires **CaCO3 total:** 15-30%
Texture: limono-argileuse **Taux d'argile:** 15-30 %
Nature des argiles: montmorillonite
Battance: nulle (sensibilité au tassement) **Fourniture en éléments chimiques:** bonne
Hydromorphie: ressuyage lent

Caractéristiques et potentialités agronomiques:

Grandes cultures: implantation des cultures facile. Réchauffement moyen à rapide. Problèmes de portance possibles
Viticulture: Précocité normale. Vigueur moyenne. Risque de chlorose faible mais pouvoir chlorosant fort en profondeur

Modes probables de circulation de l'eau:

Obstacles probables à l'infiltration: néant

	Hiver	Printemps
Infiltration	100 %	75 %
Ruissellement		
Ruissellement hypodermique		25

Doucins limoneux

Indications générales:

Définition: trois types possibles: sableux, limoneux,ou argileux sol plus ou moins hydromorphe et plus ou moins épais sur plancher argileux imperméable
Localisation dans le paysage: plateaux et bordures de plateaux: pente faible
Nature de la roche-mère: argile ou argile sableuse
Caractéristiques fondamentales (physiques, chimiques):
Réserve Utile: 75-125 mm **PH:** 4,5-6,5
Profondeur: 30-50 cm **CEC:** 5-15: faible meq/100g
Pierrosité: 5-20 % **MO:** 1,5-3: faible%
Nature des cailloux: siliceux **CaCO3 total:** 0%
Texture: limoneuse ou sableuse **Taux d'argile:** 8-20 %
Nature des argiles: kaolinite
Battance: forte **Fourniture en éléments chimiques:** faible
Hydromorphie: moyenne à forte

Caractéristiques et potentialités agronomiques:

Grandes cultures: travail du sol facile. Sols difficiles pour les cultures d'hiver à cause des excès d'eau fréquents. Les cultures de printemps y sont moins sensibles. Une irrigation d'appoint est conseillée sur maïs
Viticulture: pas de risque de chlorose. Précocité normale. Vigueur moyenne
Remarques: les doucins sableux conviennent bien à la culture de la pomme de terre primeur

Modes probables de circulation de l'eau:

Obstacles probables à l'infiltration:

	Hiver	Printemps
Infiltration	0-30 %	0-5 %
Ruissellement	50-70 %	95-100 %
Ruissellement hypodermique	30-70 %	

Remarques: risque de battance important. Ruissellements de surface préférentiels. Horizon argileux compact favorisant les ruissellements hypodermiques

Annexe 2: Etude du ruissellement à l'aide du modèle STREAM

Le fonctionnement du modèle de ruissellement STREAM :

STREAM est un modèle spatialisé de type système expert fonctionnant aux échelles du petit bassin versant et de l'événement pluvieux. Ses principales caractéristiques sont la prise en compte des états de surface (agrégats, battance, rugosité) de chaque parcelle ainsi que de la pédologie dans les processus d'infiltration/ruissellement et la prise en compte de l'occupation du sol dans les processus de circulation de l'eau et du ruissellement. Il utilise le SIG ArcInfo et fonctionne en mode raster. Ce modèle a été développé par l'INRA.

Données d'entrée

- Parcellaire

Afin de caractériser précisément l'état de surface de chaque parcelle, l'occupation du sol et la pédologie on été prises en compte. A l'échelle du bassin versant, il n'est pas possible de tracer le contour de chacune des parcelles agricoles. Le découpage des surfaces s'est fait grâce aux données d'occupation du sol tirées de Corine Land Cover (2000), des orthophotos (2002) et des couches pédologiques. 11 classes d'occupations du sol ont été ainsi redéfinies :

Occupation du sol	**Faciès**	**Rugosité**	**Couverture végétale**	**Capacité d'infiltration**
Marais	0	1	3	4
Prairie	12	2	3	0
Zone urbaine	2	1	1	5
Forêt	1	3	2	0
Culture de printemps (maïs, tournesols)	12	1	1	1
Cultures d'hiver (blé, orge)	12	3	1	1
Vigne	12	1	2	1
Cultures de printemps sur doucins limoneux	2	2	1	3
Cultures d'hiver sur doucins limoneux	2	2	1	3
Vigne sur doucins limoneux	2	1	2	3
Cours d'eau	2	1	1	5

Occupation des sols et caractéristiques de leurs états de surfaces associés en automne.

On considère que le bassin versant est constitué d'une pédologie ayant un comportement homogène face à une précipitation, excepté sur la zone des doucins limoneux. Les occupations du sol situées sur des doucins limoneux, considérés comme atypiques quant à leur comportement vis-à-vis des capacités d'infiltration et d'indices de battance, sont classés à part avec des indices adaptés à cette spécificité.

Les différents coefficients (de faciès, rugosité et de couverture végétale) correspondent aux états de surfaces du sol et leur correspondance est indiquée dans les tableaux suivants. Les phénomènes de battances et de faibles rugosités seront favorisés sur les doucins limoneux.

Les capacités d'infiltrations ont été évaluées à partir des données de l'INRA et des campagnes d'infiltométrie réalisées sur le terrain et exposées précédemment.

- MNT nécessaire à la définition des directions et des accumulations des ruissellements.

Il s'agit d'un Modèle Numérique de Terrain d'une résolution de pixel de 50 m de côté. Cette résolution ne permet pas de prendre en compte des éléments linéaires du paysage tels que les haies ou les fossés. Les dérayures (dernier trait de labour en bordure) dans les champs sont également impossibles à prendre en compte. La qualité de ce MNT est la principale limite à l'étude à l'échelle parcellaire du territoire.

- Calcul du bilan de ruissellement/infiltration

Pour chacun des pixels du bassin modélisé, il est attribué une capacité d'infiltration selon les états de surface des sols. On obtient alors la table des correspondances ci-dessous :

		FACIES	FACIES	FACIES	FACIES	FACIES
RUGOSITE PARALLELE	COUVERT VEGETAL	non relevé	F0 - stac	F1 - 1er	F12 - 2è	F2 - stac
	< 20 % (1)	-1	2	2	3	5
	21 - 60 % (2)	-1	1	2	3	4
	> 60 % (3)	-1	0	1	2	3
1 - 2 cm (1)	non relevé (-1)	-1	-1	-1	-1	-1
	< 20 % (1)	-1	1	2	1	5
	21 - 60 % (2)	-1	4	1	1	4
	> 60 % (3)	-1	4	1	0	3
2 - 5 cm (2)	non relevé (-1)	-1	-1	-1	-1	-1
	< 20 % (1)	-1	0	1	2	3
	21 - 60 % (2)	-1	0	1	1	3
	> 60 % (3)	-1	0	0	0	2
5 - 10 cm (3)	non relevé (-1)	-1	-1	-1	-1	-1
	< 20 % (1)	-1	0	1	1	3
	21 - 60 % (2)	-1	0	0	1	2
	> 60 % (3)	-1	0	0	0	2
10 - 15 cm (4)	non relevé (-1)	-1	-1	-1	-1	-1
	< 20 % (1)	-1	0	1	1	2
	21 - 60 % (2)	-1	0	0	1	2
	> 60 % (3)	-1	0	0	0	2
> 15 cm (5)	non relevé (-1)	-1	-1	-1	-1	-1
	< 20 % (1)	-1	0	1	1	2
	21 - 60 % (2)	-1	0	0	1	2

Capacité d'infiltration (mm/h) en fonction des paramètres faciès, rugosité et couvert végétal.

CLASSE DE SENSIBILITE	CAPACITE D'INFILTRATION
-1	0
0	150
1	100
2	50
3	20
4	10
5	0

Capacité d'infiltration (mm/h) associés à chacun des indices.

	P48	P48	P48	P48
CLASSE DE SENSIBILITE	0 mm	0 à 15 mm	16 à 40 mm	> 40 mm
-1	0	0	0	0
0	150	135	110	100
1	100	85	60	50
2	50	35	15	10
3	20	10	5	10
4	10	0	0	0
5	0	0	0	0

Hauteur de pluie d'imbibition en fonction de la capacité d'infiltration et de la pluie précédente (48h).

- Données pluviométriques

Les trente années de chroniques disponibles à la station de cognac permettent une étude statistique et la définition des événements de référence. Les ajustements ont été réalisés selon les lois de Gumbel et de Galton. Les figures suivantes présentent les résultats.

Période de retour	**Gumbel mm/j**	**Galton mm/j**
2	32	33
5	39	39
10	44	43
50	54	51
100	58	54
1000	72	63

Valeurs statistiques de précipitation

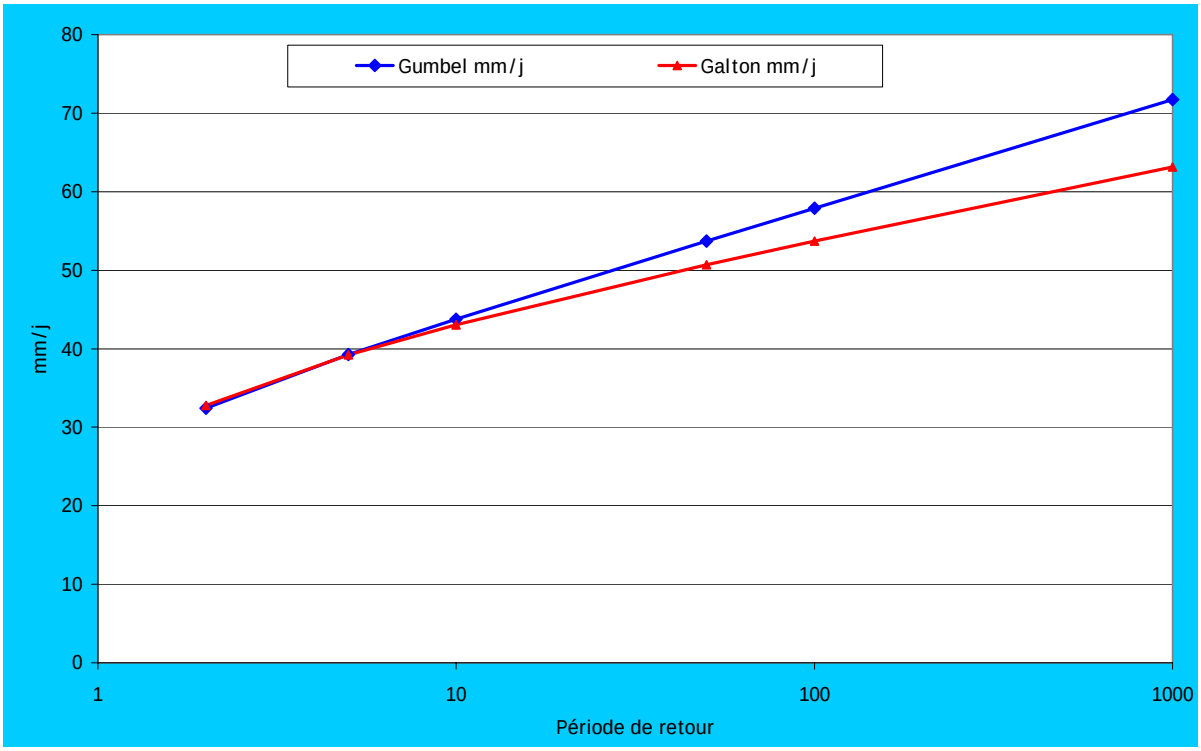
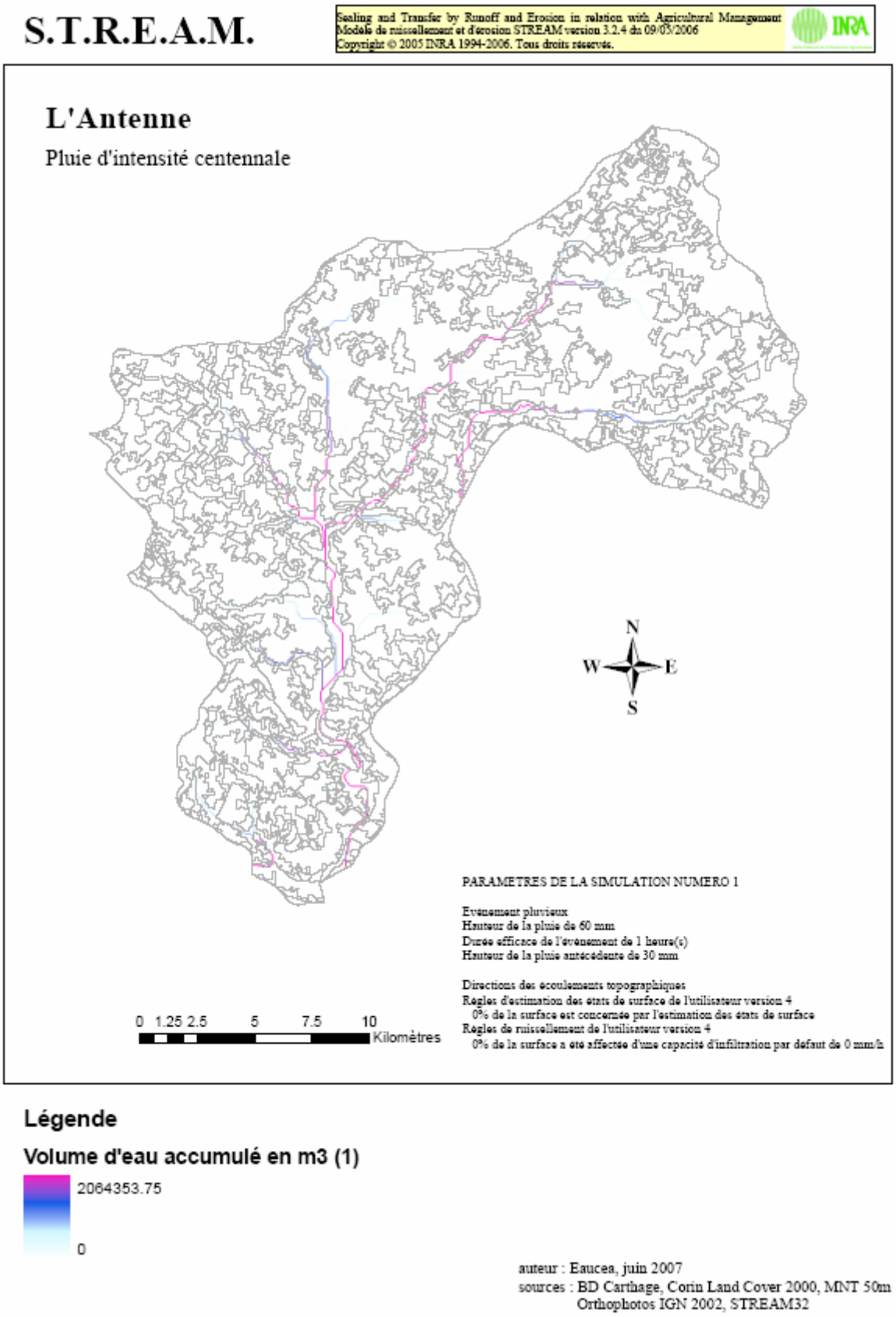


Figure 39: Valeurs statistiques de précipitation

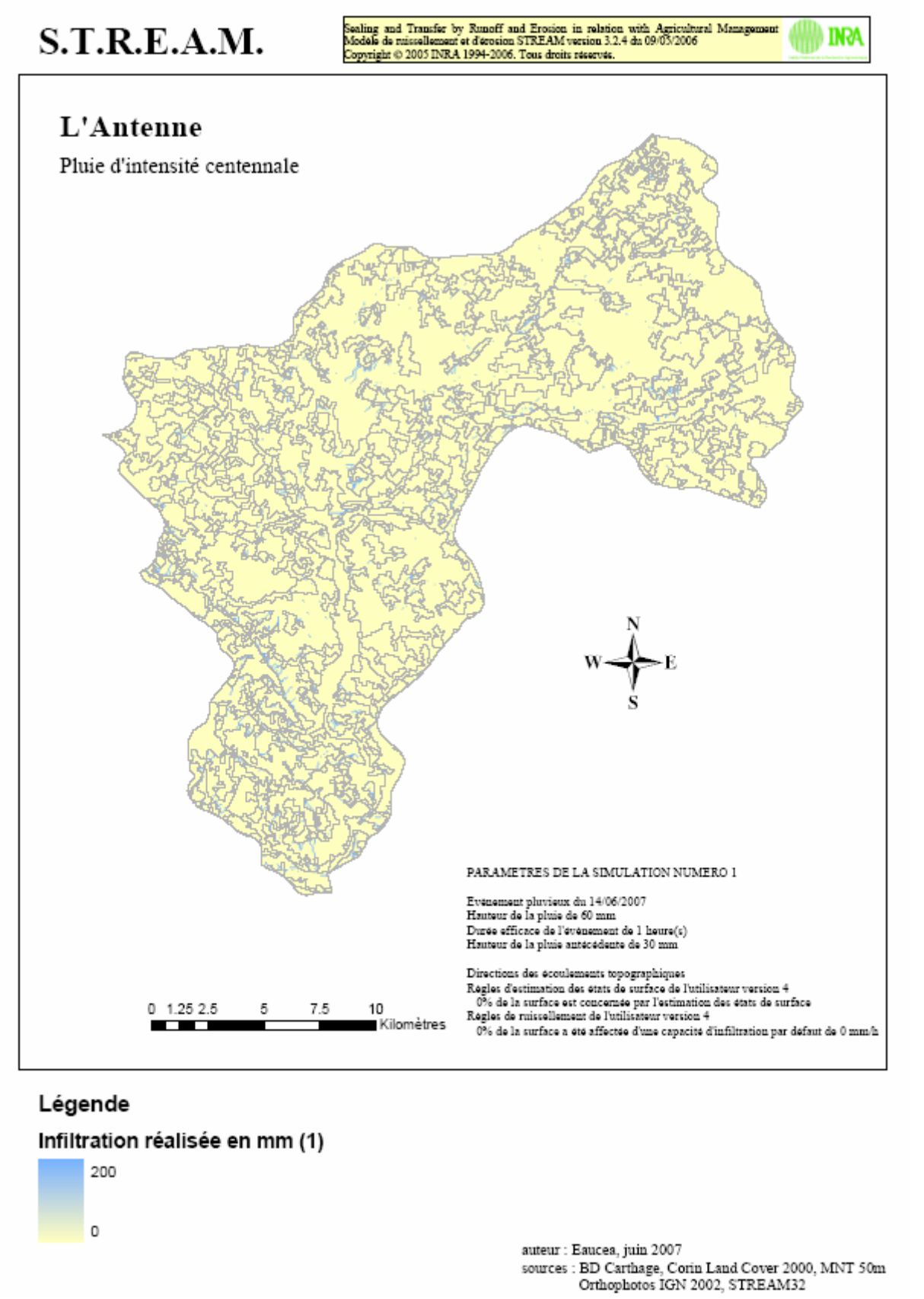
Ces valeurs permettent d'entrer dans STREAM des valeurs les plus fortes possibles sur le bassin de l'Antenne.

L'hypothèse préalable est de considérer les précipitations comme homogènes sur l'ensemble du bassin versant de l'Antenne. La modélisation est effectuée sur une période automnale avec pour but de simuler les ruissellements qui auraient pu intervenir lors de la crue décennale du mois d'octobre/novembre 2000 (avec des intensités de 34 mm/h). Toujours en période automnale, des intensités de précipitations proches des centennales (50 et 60 mm/h) sont simulées.

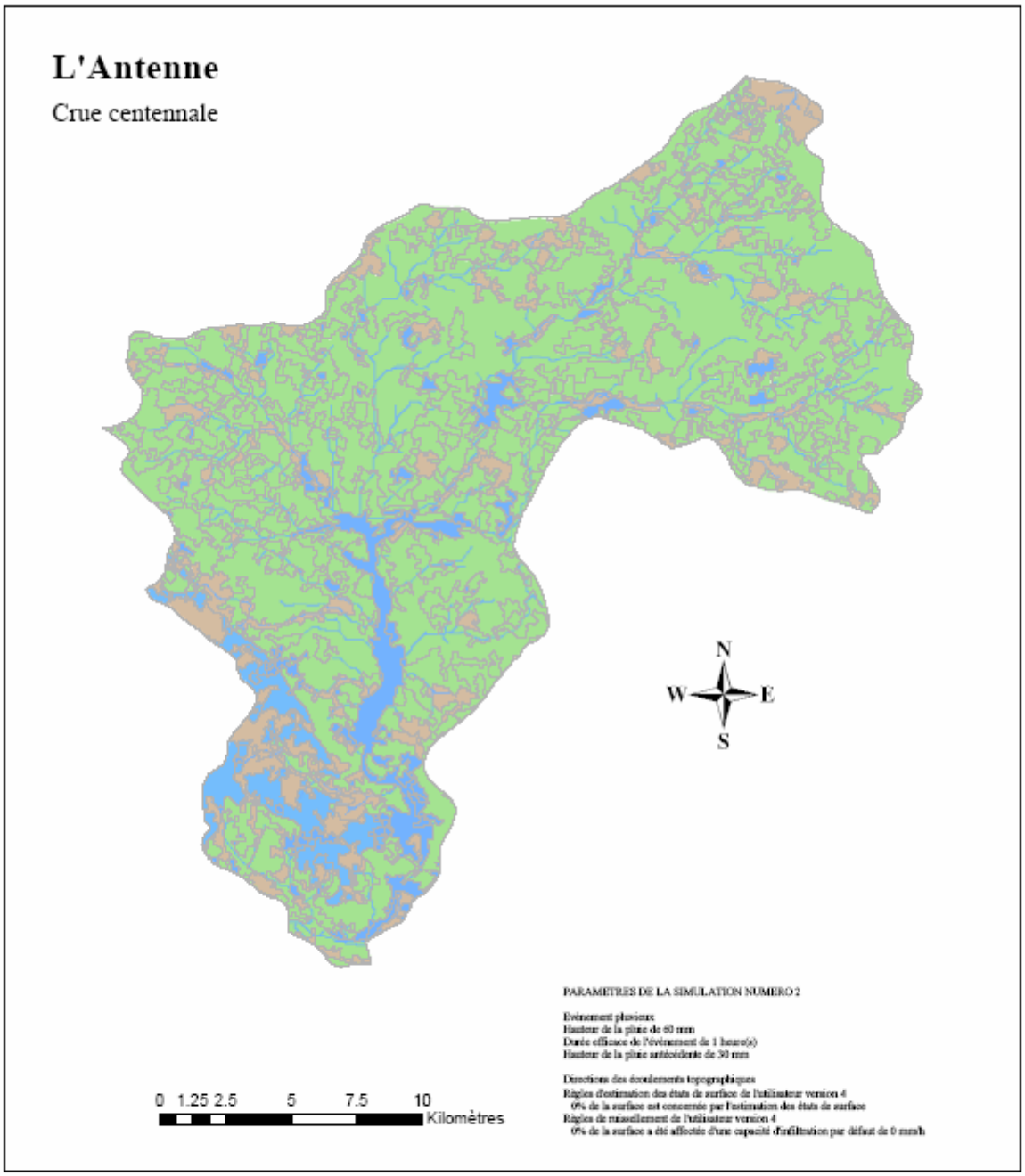
Résultats



Modélisation du ruissellement pour une intensité de pluie centennale



Modélisation de l'infiltration pour une pluie centennale



Légende

Bilan Infiltration / Ruissellement en mm (1)

Valeur

60

-200

auteur : Eaucea, juin 2007
sources : BD Carthage, Corin Land Cover 2000, MNT 50m
Orthophotos IGN 2002, STREAM32

Carte des zones d'infiltration et de ruissellement

Pour une pluie de 60 mm/h testée, le modèle permet de voir les zones de ruissellement et d'accumulation. Dans la zone de marais, l'Antenne draine une partie des eaux ruisselées et les transferts vers l'exutoire. Ces crues sont donc générées par ruissellement direct. On observe également du ruissellement sur les doucins limoneux, dans le secteur du Bellot, ce ruissellement s'observe à l'échelle d'un ensemble parcellaire mais n'atteint majoritairement pas le réseau hydrographique et s'infiltre en sortie de cette zone ruisselante. Sur le reste du bassin aucun phénomène de ruissellement n'est observable en dehors des zones urbanisées qui, de la même manière, voient leur ruissellement absorbé en bordure. Il en ressort que la majorité du territoire présente la capacité d'infiltrer les volumes d'eau reçus.

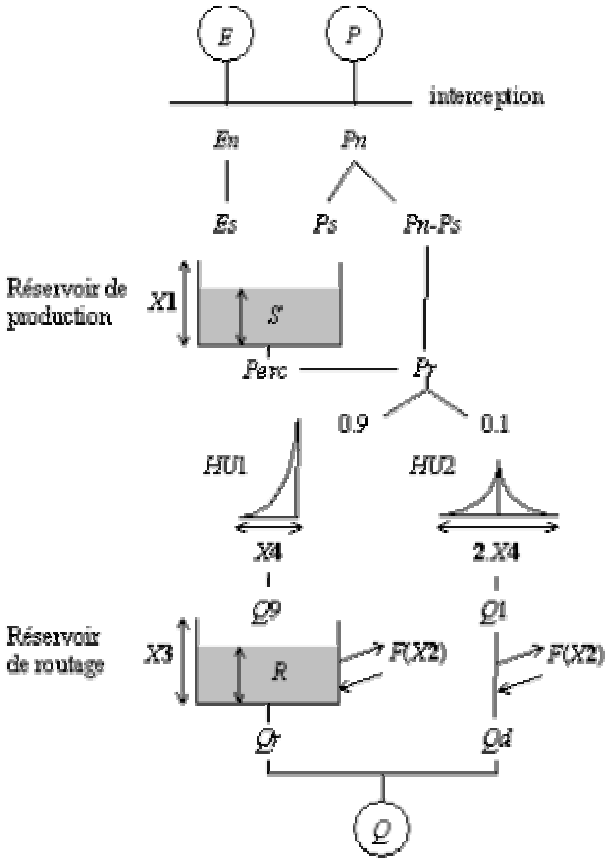
Au niveau du point exutoire (correspondant à la ville de Javrezac), le volume maximum ruisselé est de l'ordre de 2 000 000 m³ (dont 1 000 000 de m³ précipités directement dans les cours d'eau) pour l'événement centennal et dans les conditions d'état de surface des sols à l'automne. Cela montre bien la prépondérance du phénomène d'infiltration.

Annexe 3 : Le modèle GR4J'

Le modèle GR4J (modèle du Génie Rural à 4 paramètres Journalier) est un ***modèle pluie-débit global à réservoirs***.

Source: http://www.cemagref.fr

Le modèle a quatre paramètres optimisables :



X1 : capacité du réservoir de production (mm)

X2 : coefficient d'échanges souterrains (mm)

X3 : capacité à un jour du réservoir de routage (mm)

X4 : temps de base de l'hydrogramme unitaire *HU*1 (j)

On désigne par ***P* (mm)** la hauteur de pluie et par ***E* (mm)** l'évapotranspiration potentielle (ETP).

P est une estimation de la pluie de bassin et ***E*** peut être issue d'une courbe d'ETP moyenne interannuelle. Les équations suivantes correspondent aux équations intégrées sur un pas de temps.

La première opération est la neutralisation de *P* par *E* pour déterminer une pluie nette *Pn* et une évapotranspiration nette *En* calculée par :

Si $P > E$, alors $Pn = P - E$ et $En = 0$

Si $P < E$, alors $Pn = 0$ et $En = E - P$

Dans le cas où *Pn* est différente de zéro, une partie *Ps* de *Pn* alimente le réservoir de production et est calculée par :

$$Ps = \frac{X1\left(1-\left(\frac{S}{X1}\right)^2\right)\tanh\left(\frac{Pn}{X1}\right)}{1+\frac{S}{X1}\tanh\left(\frac{Pn}{X1}\right)}$$

où *X*1 (mm) et S sont respectivement la capacité maximum et le niveau du réservoir de production.

Dans le cas contraire, lorsque *En* est différent de zéro, une quantité d'évaporation *Es* est retirée du réservoir de production. Elle est donnée par :

$$Es = \frac{S\left(2-\frac{S}{X1}\right)\tanh\left(\frac{En}{X1}\right)}{1+\left(1-\frac{S}{X1}\right)\tanh\left(\frac{En}{X1}\right)}$$

Le contenu du réservoir est mis à jour par :

$S = S - Es + Ps$

Une percolation *Perc* issue du réservoir de production est alors calculée :

$$Perc = S\left\{1-\left[1+\left(\frac{4}{9}\frac{S}{X1}\right)^4\right]^{-\frac{1}{4}}\right\}$$

Le contenu du réservoir est de nouveau mis à jour par :

$S=S-Perc$

La quantité d'eau *Pr* qui atteint finalement la partie routage du modèle est :

$Pr = Perc + (Pn - Ps)$

Pr est divisée en deux composantes d'écoulement, 90 % étant routés par un hydrogramme unitaire *HU*1 et un réservoir de routage et 10 % par un unique hydrogramme unitaire *HU*2.

*HU*1 et *HU*2 dépendent du même paramètre *X*4, temps de base de *HU*1 exprimé en jours.

Les ordonnées des hydrogrammes sont calculées à partir des courbes en S (cumul de la proportion de la pluie unitaire traitée par l'hydrogramme en fonction du temps) notées respectivement *SH*1 et *SH*2.

$SH1$ est définie en fonction du temps par :

Pour t = 0

$$SH1(t) = 0$$

Pour 0 < t < X4

$$SH1(t) = \left(\frac{t}{X4}\right)^{\frac{5}{2}}$$

Pour t > X4

$$SH1(t) = 1$$

$SH2$ est définie en fonction du temps par:

Pour t = 0

$$SH2(t) = 0$$

Pour 0 < t < X4

$$SH2(t) = \frac{1}{2}\left(\frac{t}{X4}\right)^{\frac{5}{2}}$$

Pour X4 < t < 2X4

$$SH2(t) = 1 - \frac{1}{2}\left(2 - \frac{t}{X4}\right)^{\frac{5}{2}}$$

Pour t > 2X4

$$SH2(t) = 1$$

Les ordonnées de $HU1$ et $HU2$ sont alors calculées par :

$$UH1(j) = SH1(j) - SH1(j-1)$$

$$UH2(j) = SH2(j) - SH2(j-1)$$

où j est un entier.

A chaque pas de temps i, les sorties Q9 et Q1 des deux hydrogrammes sont calculées par :

$$Q9(i) = 0{,}9 \sum_{k=1}^{i} UH1(k).\,Pr(i-k+1)$$

$$Q1(i) = 0{,}1 \sum_{k=1}^{m} UH2(k).\ Pr(i-k+1)$$

où l = int(X4)+1 et m = int(2.X4)+1, avec int(.) désignant la partie entière.

Un échange souterrain en eau (perte ou gain) est calculé par :

$$F = X2\left(\frac{R}{X3}\right)^{7/2}$$

où *R* est le niveau dans le réservoir, X3 la capacité à un jour du réservoir et X2 le coefficient d'échange en eau qui peut être positif dans le cas d'apports, négatif dans le cas de pertes vers des nappes profondes ou nul.

Le niveau dans le réservoir de routage est mis à jour en ajoutant la sortie *Q*9 de l'hydrogramme *HU*1 et *F* :

***R* = max (0 ; *R* + *Q*9 + *F*)**

Il se vidange ensuite en une sortie *Qr* donnée par :

$$Qr = R\left\{1 - \left[1 + \left(\frac{R}{X3}\right)^4\right]^{-\frac{1}{4}}\right\}$$

Le niveau dans le réservoir devient : ***R* = *R* – *Qr***

La sortie *Q*1 de l'hydrogramme *HU*2 est soumise aux mêmes échanges pour donner la composante d'écoulement *Qd* :

Qd = max (0 ; Q1+F)

Le débit total *Q* est alors donné par : ***Q* = *Qr* + *Qd***

Références:

Edijatno, Nascimento, N.O., Yang, X., Makhlouf, Z. et Michel, C. (1999). GR3J : a daily watershed model with three free parameters. Hydrological Sciences Journal, 44(2), 263-278.

Perrin, C., 2002. Vers une amélioration d'un modèle global pluie-débit au travers d'une approche comparative. La Houille Blanche, n°6/7 : 84-91.

Perrin, C., Michel, C. and Andréassian, V., 2003. Improvement of a parsimonious model for streamflow simulation. Journal of Hydrology, 279 : 275-289.

Annexe 4 : Présentation des longueurs d'assecs en fonction de la piézométrie.

DATE	Longueur d'assec (km)	Niveau piézométrique
15/06/2006	41	-20.6
27/07/2006	65	-24.1
18/08/2006	78	-25.34
07/09/2006	76	-26

DATE	Longueur d'assec (km)	Niveau piézométrique
15/06/2005	45	-22.44
08/07/2005	60	-24.24
29/07/2005	78	-25.39
19/08/2005	85	-26.12
09/09/2005	96	-26.51
30/09/2005	100	-26.81
20/10/2005	94	-26.98
15/11/2005	95	-26.93