

I BILAN DES ETUDES MENEES SUR LE BASSIN VERSANT DE L'ANTENNE.**Contexte et cadre de l'étude :**

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 prévention des inondations sur le bassin du fleuve. Par ailleurs, une notion de solidarité amont-aval s'impose comme une nouvelle politique à mener. Parmi ces actions, on peut compter la mise en place d'aires de stockage, ou de ralentissement dynamique, réparties sur le bassin. Cette étude s'inscrit dans ce contexte et porte sur la modélisation des ruissellements et des transports solides sur le sous-bassin pilote de l'Antenne en vue d'une généralisation sur l'ensemble du territoire concerné.

On peut distinguer des objectifs directement reliés à la modélisation et d'autres sous-jacents et découlant des applications. Les principaux buts à atteindre sont :

- cerner les éléments capables de ralentir le ruissellement et modéliser les impacts d'actions telle que l'implantation de bandes enherbées sur l'écoulement de l'eau, les obstacles en talweg, les ralentissements dans les réseaux de drainage. Il s'agit de quantifier cette efficacité. Au final, une analyse argumentée des actions de réduction est à entreprendre et qui devra se décliner à différentes échelles spatiales.

- à travers ces mesures d'impact, comment arriver à écrêter les crues de manière significative?

De multiples objectifs sous-jacents apparaissent alors :

La gestion des sites de surstockage pour écrêter les crues

La préservation des sites naturels en amont et la remise en état des Zones Humides.

La généralisation des résultats à d'autres sous bassins de la Charente.

Cette étude s'attachera à l'étude du fonctionnement hydrologique du bassin versant à travers une synthèse des connaissances et à l'étude des orientations d'aménagements possibles.

I.1.1. Géologie du bassin versant de l'Antenne.

Cette synthèse est essentiellement tirée du travail réalisé par les universitaires de l'EGID sur ce bassin versant à travers des recherches bibliographiques.

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.

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. 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.

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'accompagnement
	?	Alluvions anciennes	
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	
	Cénomaniens supérieur	Sédimentation plus marneuse, argileuse voire sableuse (12 m)	Cénomaniens
	Cénomaniens moyen	Sables calcareux et moins détritiques (20 m)	
	Cénomaniens 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 formations de l'Antenne

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 Cénomaniens 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

En conclusion, 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.

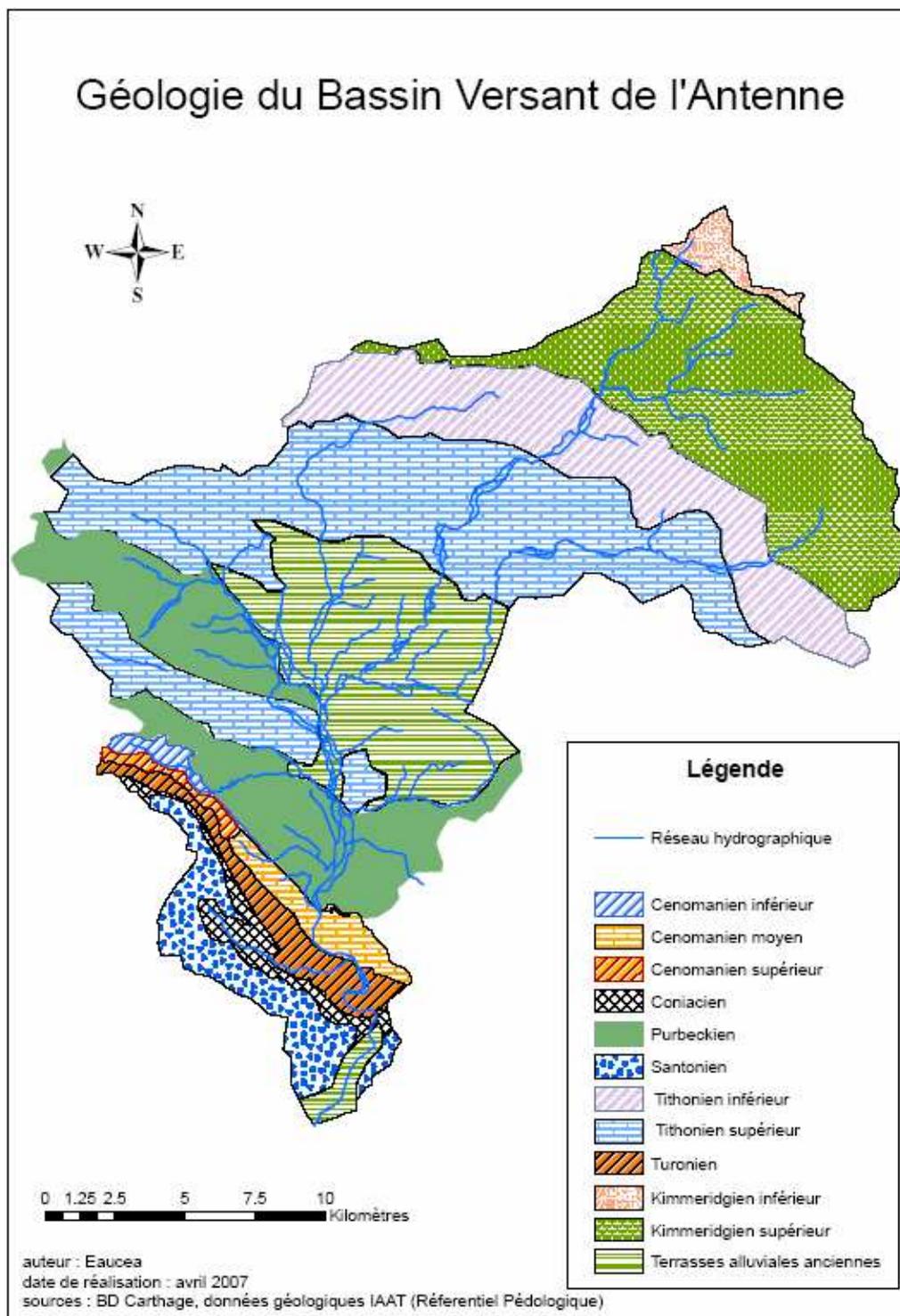


Figure 1: Carte géologique du bassin versant de l'Antenne.

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 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...) soit responsables d'une infiltration importante vers la nappe.

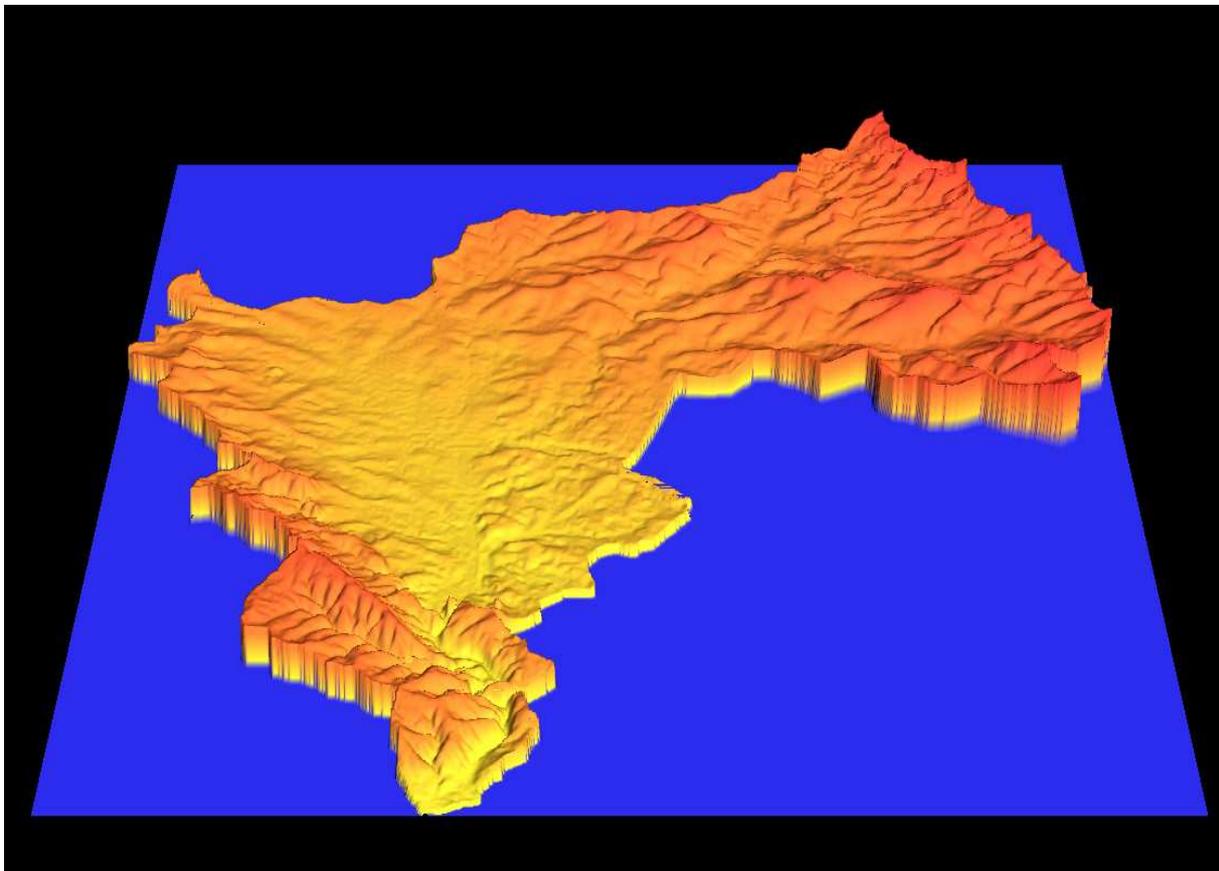


Figure 2: Morphologie du bassin versant de l'Antenne

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.

I.1.2. 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 sblo-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'infiltrations ont été entreprises. Tous ces résultats seront présentés dans la partie suivante.

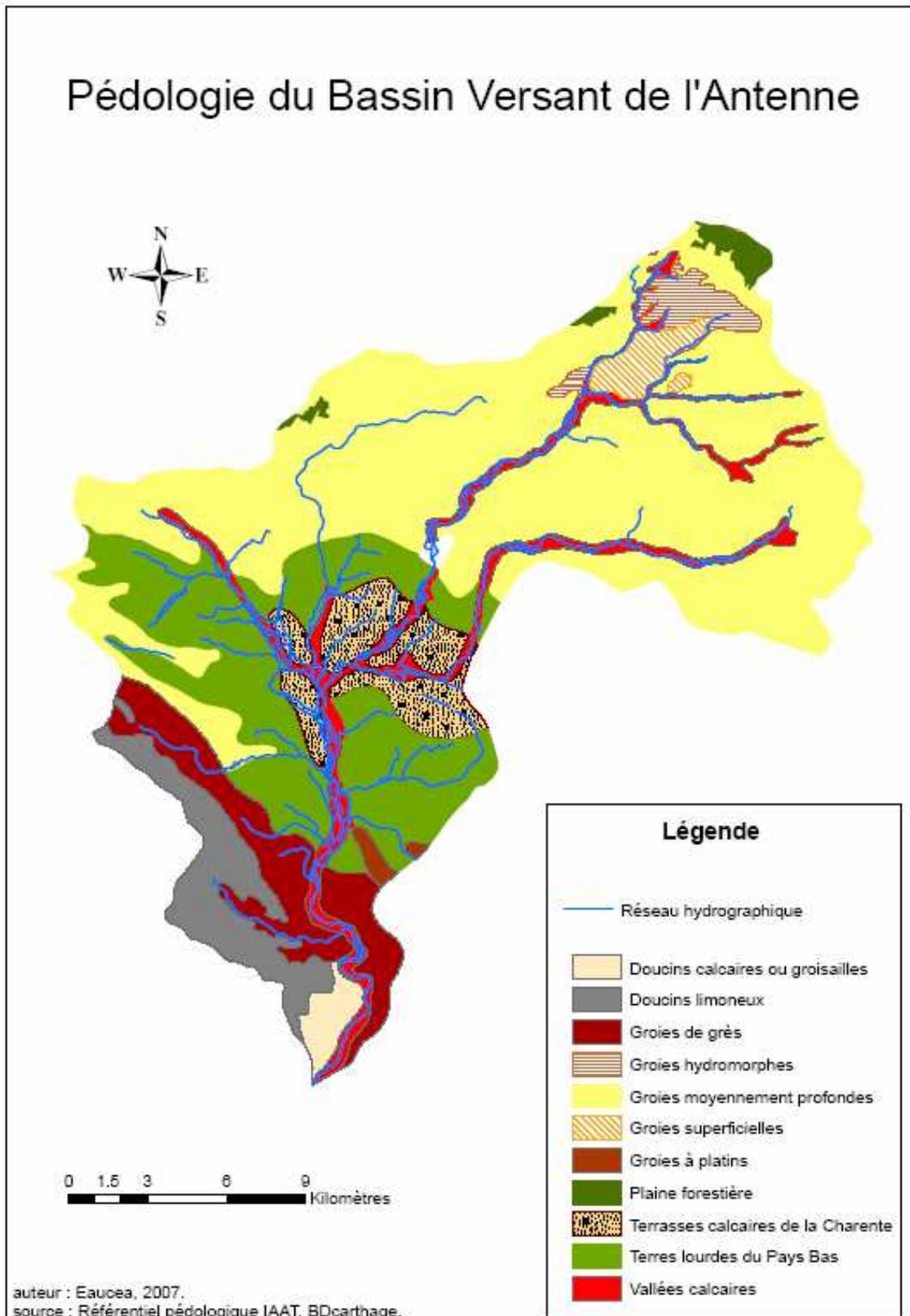


Figure 3: Carte pédologique.

I.1.3. 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 5m. 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.

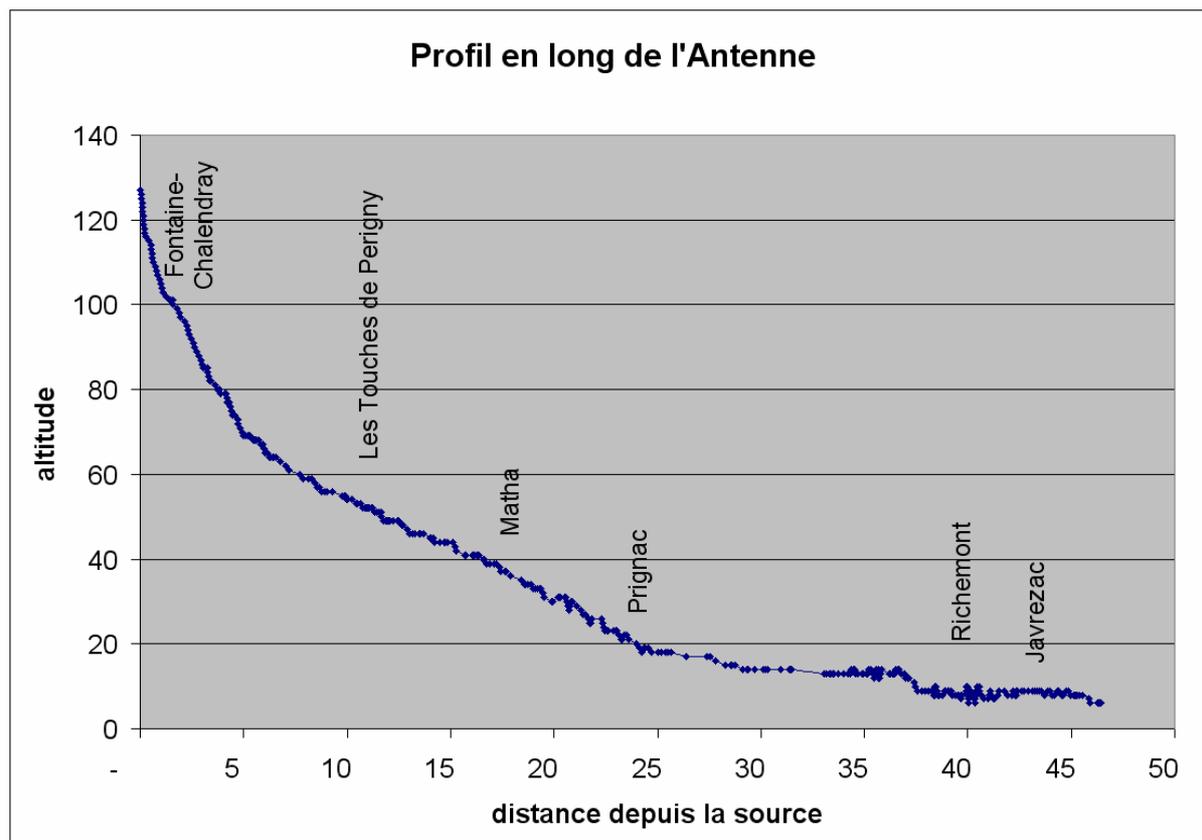


Figure 4: Profil en long de l'Antenne

Cette morphologie est directement liée à la nature géologique des terrains. De ce fait, le bassin versant fonctionne de trois manières distinctes (Figure 8):

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

Le ruissellement de surface et l'Erosion sur le bassin versant de l'Antenne.

Objectif initial : Quantifier le ruissellement et modéliser les chemins de l'eau pour diriger la prise de décisions concernant l'aménagement du territoire.

I.1.4. Synthèse des interviews sur le terrain auprès des agriculteurs

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. Dans ce talweg, la zone qui est saturée par la nappe peut se distinguer assez facilement lorsque les agriculteurs ne peuvent circuler (« sol trop mou ») sur cette zone et donc épandre l'engrais ce qui entraîne des variations de croissance des cultures (on passe d'un vert foncé, la zone d'épandage de l'engrais, à un vert pâle).

Certains agriculteurs se plaignent d'être trop souvent en restriction d'eau en ce qui concerne l'irrigation apportée aux cultures. Du reste, certains agriculteurs constituent des réserves car ils ne peuvent pourvoir à leur besoin en eau l'été. Des surfaces de maïs ont été abandonnées suite aux sévères sécheresses de ces dernières années (2005 en particulier). Si ces observations se confirment, l'irrigation se réaliserait donc actuellement plus sur les cultures céréalières, de type blé ou orge, que sur du maïs et donc plus avant les périodes critiques d'étiage.

Sur la zone amont du Dandelot, la question de l'envasement du canal du Dandelot se pose. Les drains des champs environnant en seraient-ils responsables ? Après s'être renseigné, seuls 40 ha sur 1500 ont été drainés ce qui représente une surface minimale qui ne peut expliquer seul cet envasement important. Cet ancien canal subit donc un dépôt très important de matières organiques qui entraîne des besoins de curage régulier.

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.

I.1.5. Synthèse des informations recueillies auprès du syndicat

Avec l'aide de la responsable du syndicat, Mademoiselle Alice Perron, il a été constaté que les zones dites de ruissellement de surface correspondaient à des phénomènes de remontées des nappes, ayant pour conséquence une saturation des fonds de vallée.

La coloration des eaux après un épisode pluvieux est très différente selon l'affluent concerné. Certains ruisseaux réagissent très rapidement (le Veyron) d'autre beaucoup moins (comme le cas du ruisseau du Bellot). Cependant, il ne s'agit que d'un phénomène très passager et les cours d'eau retrouvent très rapidement leur limpidité.

I.1.6. Ruissellement et érosion

Ces différentes cartes¹ sont élaborées à partir des paramètres des types d'occupations des sols, de l'indice de battance, de la sensibilité des terrains à l'érosion, de l'intensité et des hauteurs des précipitations. Même s'il s'agit de l'aléa érosif, sachant que ce phénomène est couplé au phénomène de ruissellement de surface, nous avons un bon aperçu des zones vulnérables ou non. Il apparaît que le bassin versant de la Charente est une zone plutôt bien préservée de ce type de phénomène, à l'exception des alentours de la ville de Saintes et dans la partie amont du bassin versant, sur les contreforts du Massif Central.

¹ <http://erosion.orleans.inra.fr/rapport2002/Cartes> et du rapport de Le BISSONNAIS Y., THORETTE J., BARDET C., DAROUSSIN J., 2002. L'érosion hydrique des sols en France. Rapport de l'INRA et de l'IFEN.

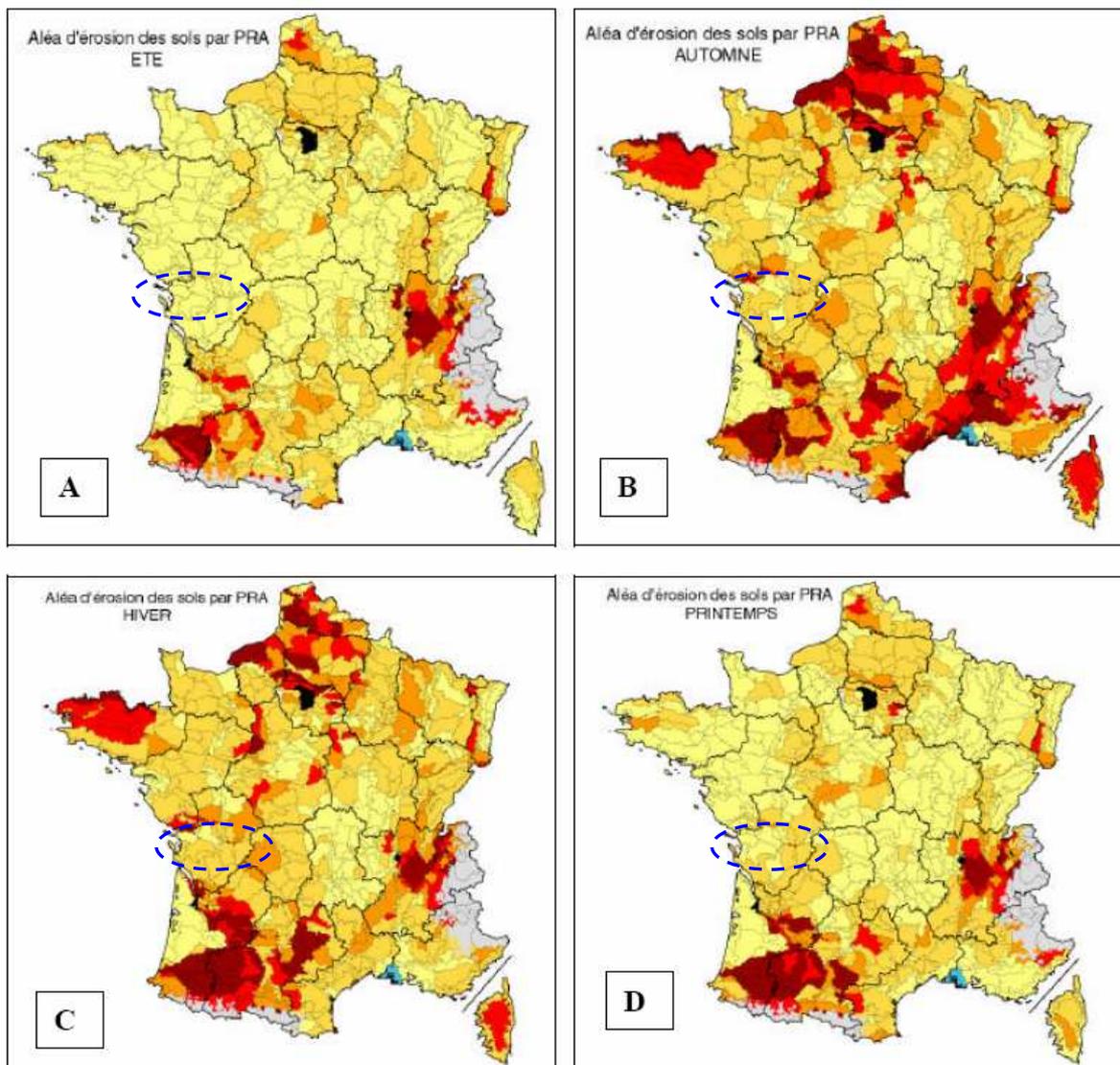


Figure 17
Aléa d'érosion des sols intégré par petite région agricole pour chaque saison.

A : été
B : automne
C : hiver
D : printemps

Cartographie : INRA Orléans, Kaléidos.



Figure 5 : Aléa d'érosion des sols selon les saisons.



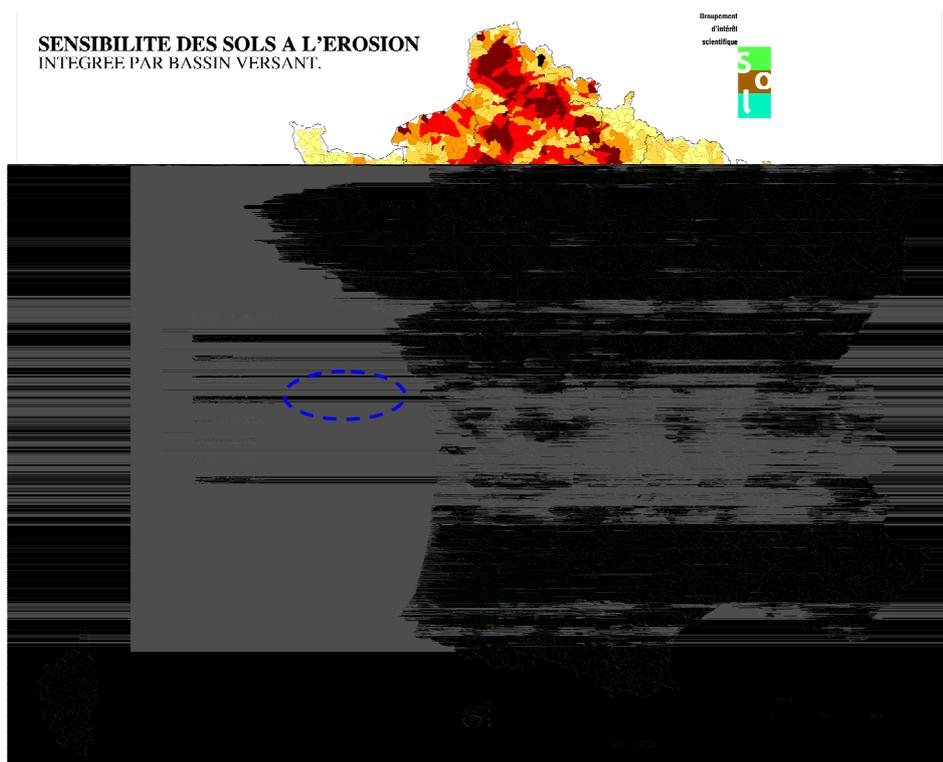


Figure 6 : Sensibilité des sols à la battance.

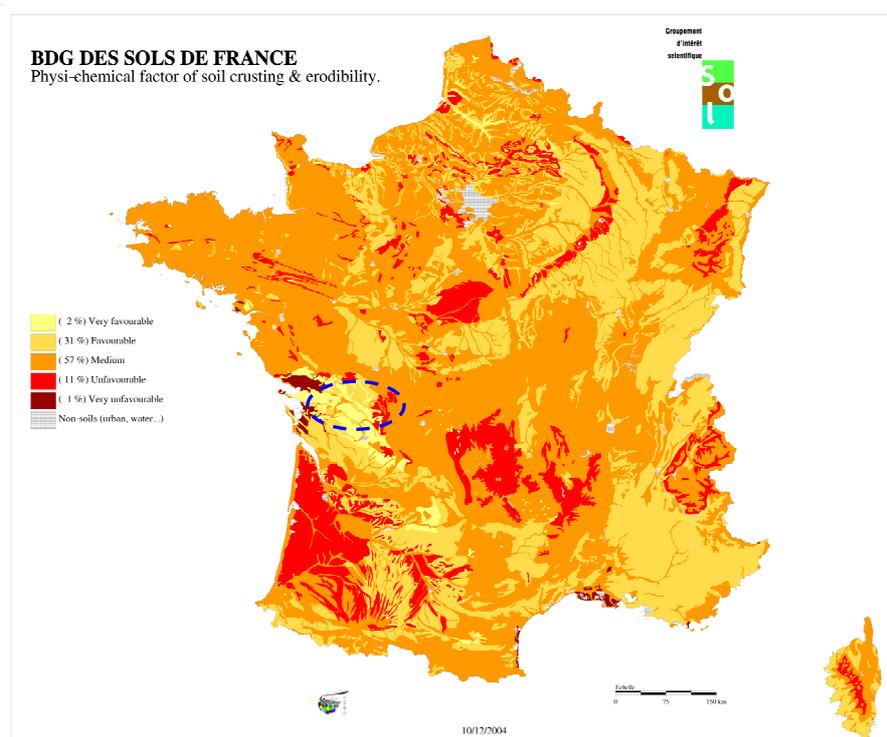


Figure 7 : Sensibilité des sols à la formation de la croûte de battance.

I.1.7. 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.

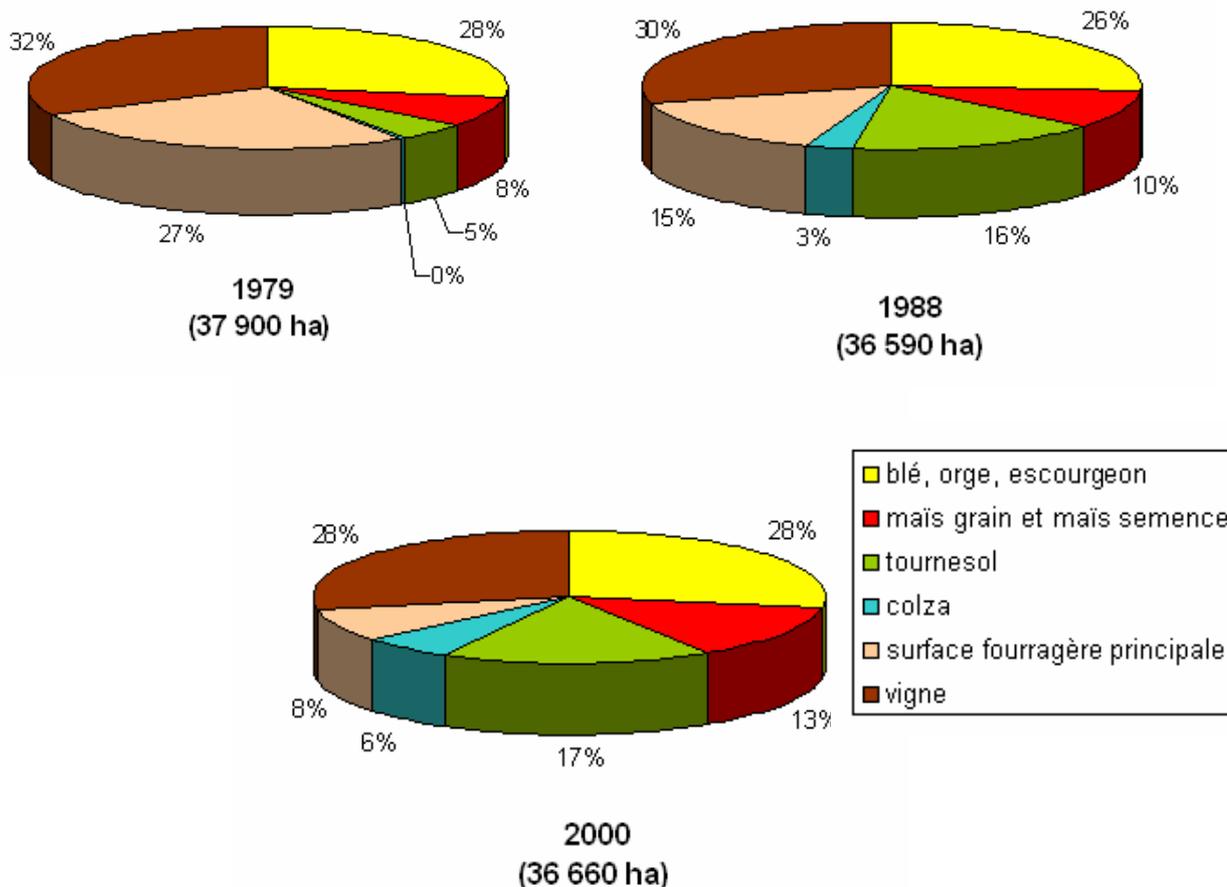


Figure 8: Evolution des surfaces cultivées

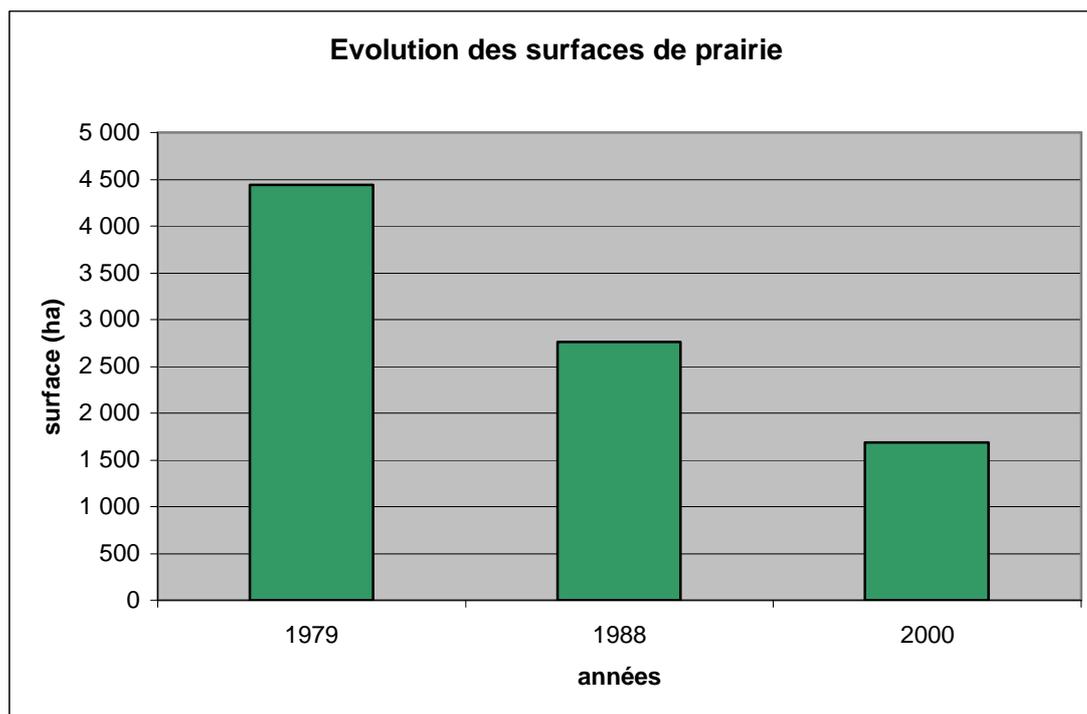
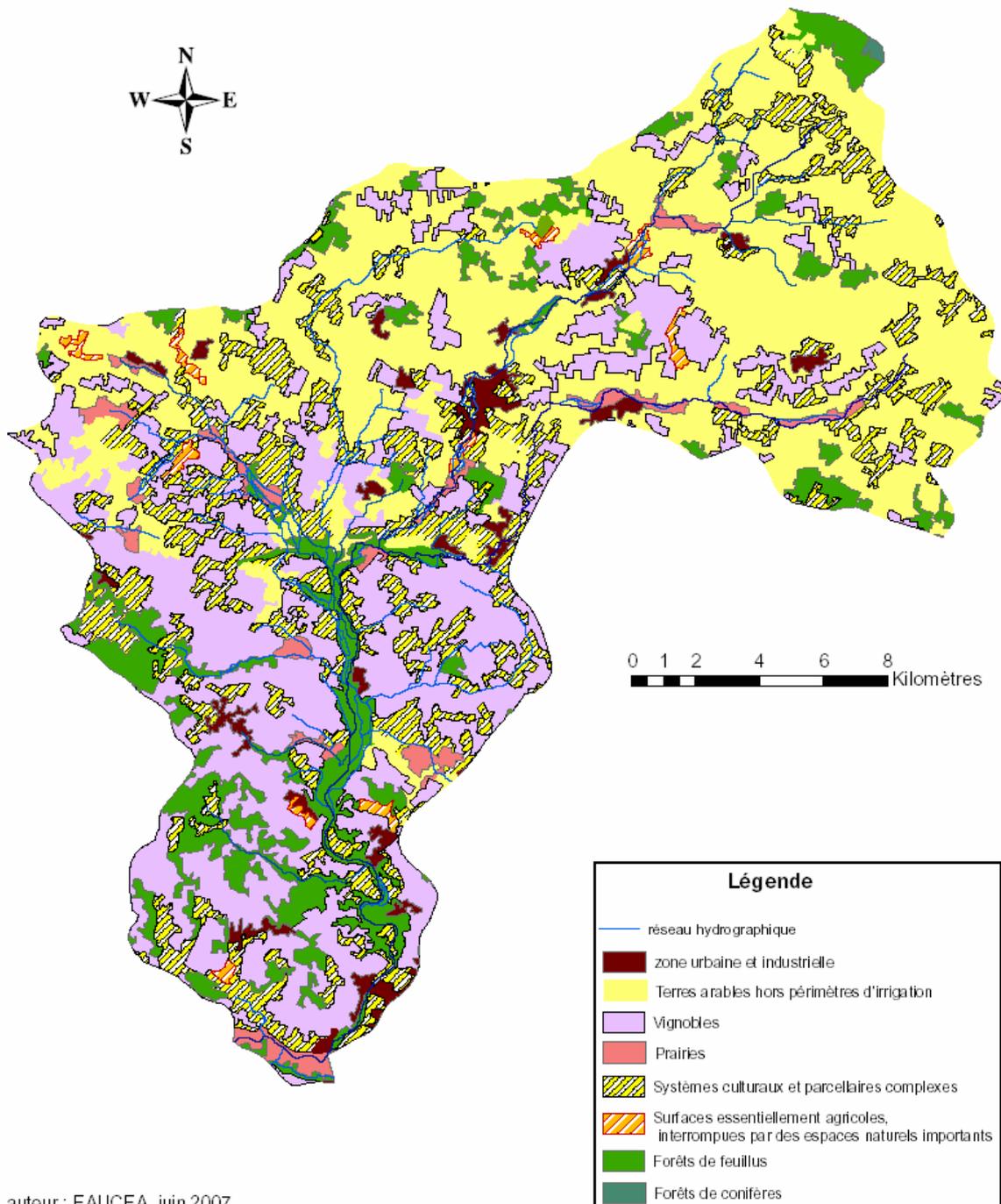


Figure 9: Evolution des surfaces de prairie

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.

Occupation des sols sur le bassin versant de l'Antenne en 2000.



auteur : EAUCEA, juin 2007
sources : Corin Land Cover 2000, BD Carthage.

Figure 10: 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.

I.1.8. Observations de terrain

Les réseaux des fossés sont inexistantes 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 leur terre.

Il a pu être observé que sur les rives ou encore au niveau des passages busés, on pouvait trouver des cannes de maïs déposées. Ce dépôt peut être interpréter comme étant le résultat d'une montée des eaux dans les fonds de vallées, envahissant les champs alentours, mettant en suspension les tiges broyées et sèches. Au moment de la décrue, ces éléments sont entraînés et se déposent au fil du cours d'eau.

Les eaux retrouvent très vite une limpidité assez remarquable qui indique que l'alimentation se produit en grande partie à partir de sources ou alimentation issue de la nappe. La coloration serait due à un phénomène de chasse momentanée de l'eau souterraine.

I.1.9. Campagne d'évaluation de la capacité d'infiltration des sols.

Méthodologie

Initialement, il était prévu d'utiliser un infiltromètre à double anneau pour prendre en considération l'état de surface des sols. Pour des raisons matérielles, ceci n'a pu être possible et 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 données granulométriques seront ajoutées dès que les analyses seront réalisées. Les zones d'échantillonnage ont été choisies en fonction de la nature pédologique des sols.

Limites

- 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 K_s (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 K_s dans le cas particulier de la station 3.

La figure suivante présente les zones d'échantillonnage effectuées :

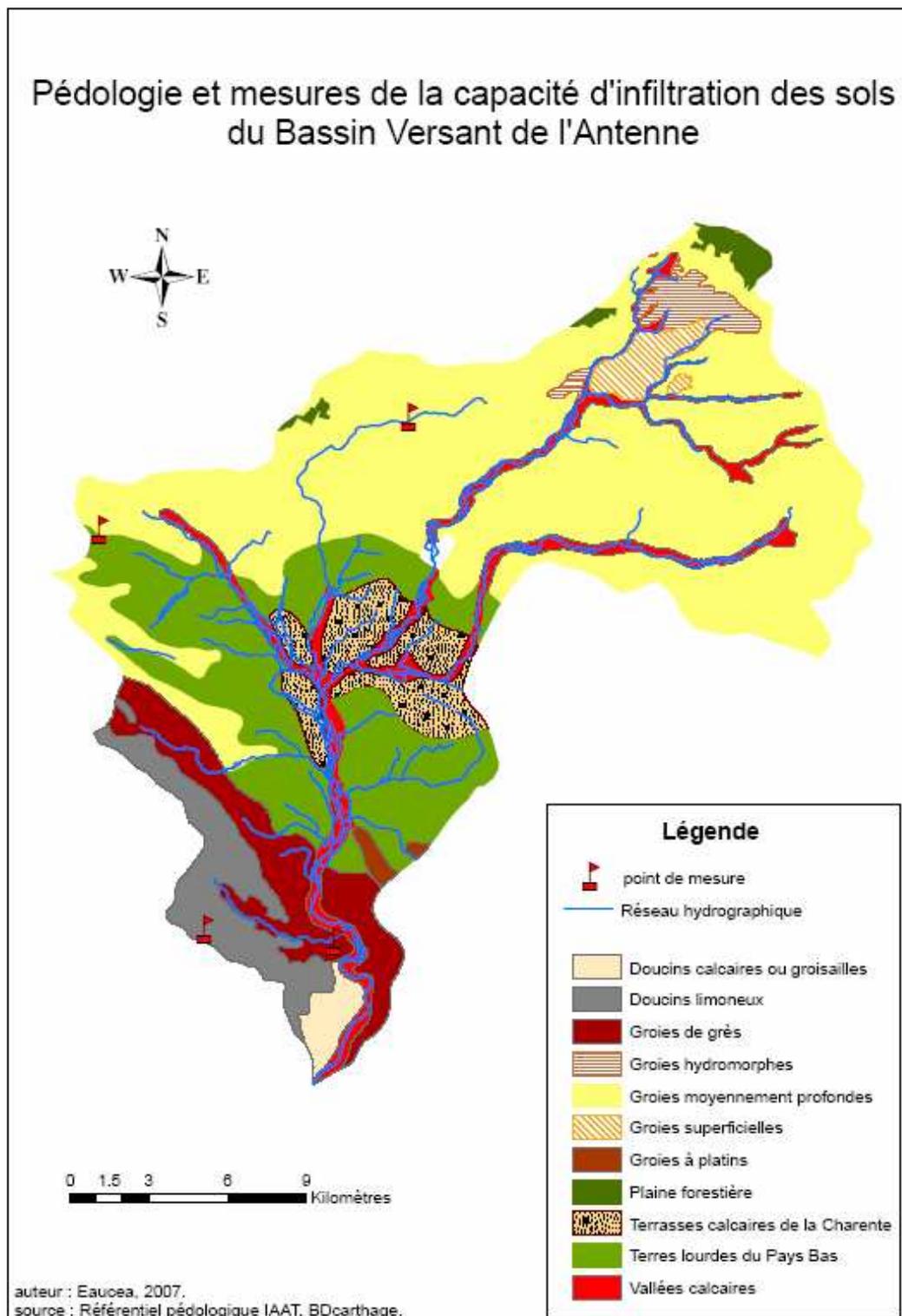


Figure 11 : Carte des points de mesures effectués.

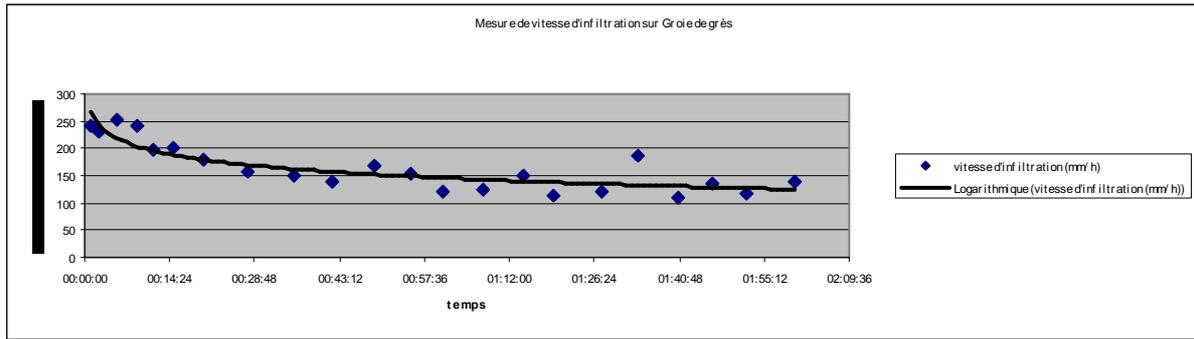


Figure 12 : Capacité d'infiltration sur groie de Grès.

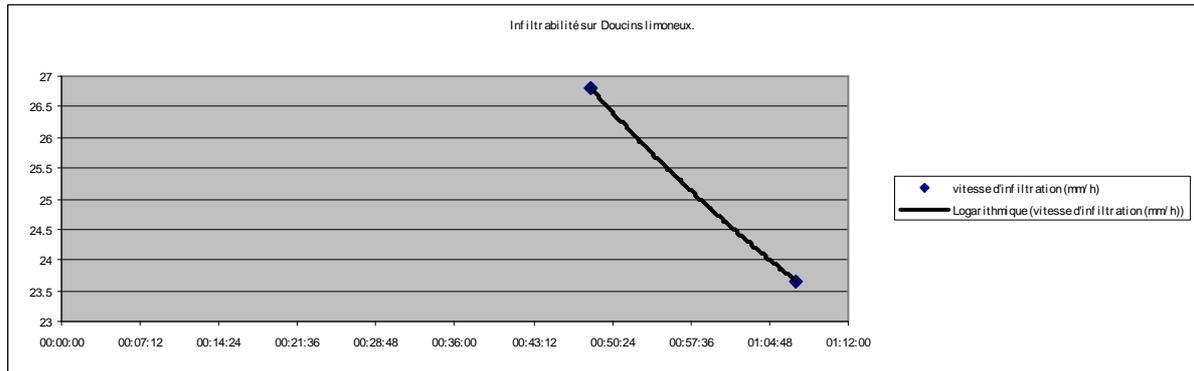


Figure 13 : Capacité d'infiltration sur Doucins limoneux.

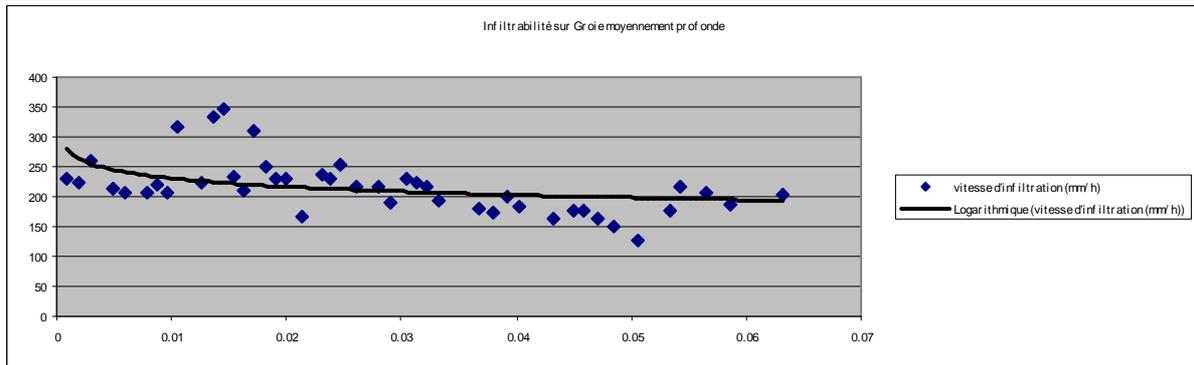
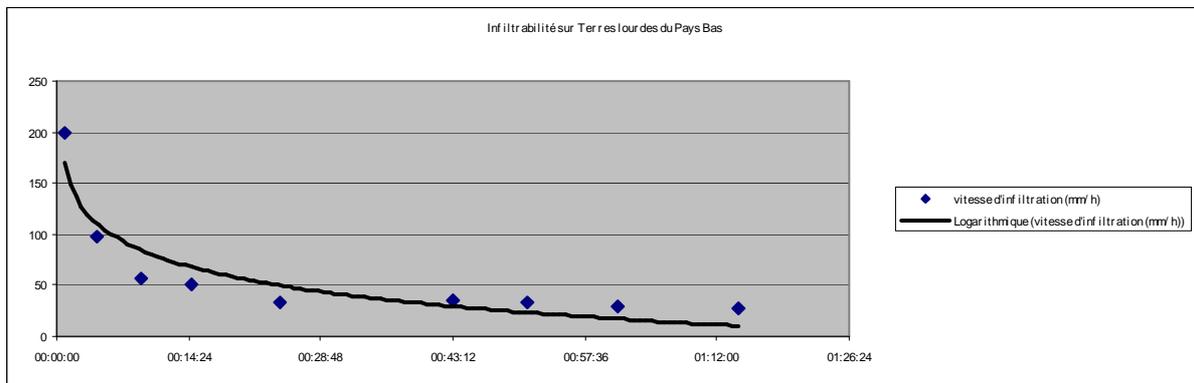


Figure 14 : Capacité d'infiltration sur groies moyennement profondes



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 importantes 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).

I.1.10. 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. Ainsi en ne considérant que les facteurs et les processus dominants, STREAM est un modèle simple ne nécessitant que peu de paramètres d'entrée. Il utilise le SIG ArcInfo et fonctionne en mode raster. Ce modèle a été développé par l'INRA (le principe de STREAM est exposé en Annexe 2).

Données d'entrée

➤ **Parcellaire**

Afin de caractériser précisément l'état de surface de chaque parcelle, l'occupation du sol et la pédologie ont 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. Ce découpage est visualisable en Annexe 3. 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

Tableau 4 : 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 en Annexe 2. 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 infiltométries 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 :

RUGOSITE PARALLELE	COUVERT VEGETAL	FACIES	FACIES	FACIES	FACIES	FACIES
		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

Tableau 5 : 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

Tableau 6 : Capacité d'infiltration (mm/h) associés à chacun des indices.

CLASSE DE SENSIBILITE	P48	P48	P48	P48
	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

Tableau 7 : 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	Gumbel mm/an	Galton mm/j	Galton mm/an
2	32	770	33	780
5	39	876	39	871
10	44	946	43	924
50	54	1099	51	1023
100	58	1164	54	1060
1000	72	1379	63	1173

Figure 16: Valeurs statistiques de précipitation

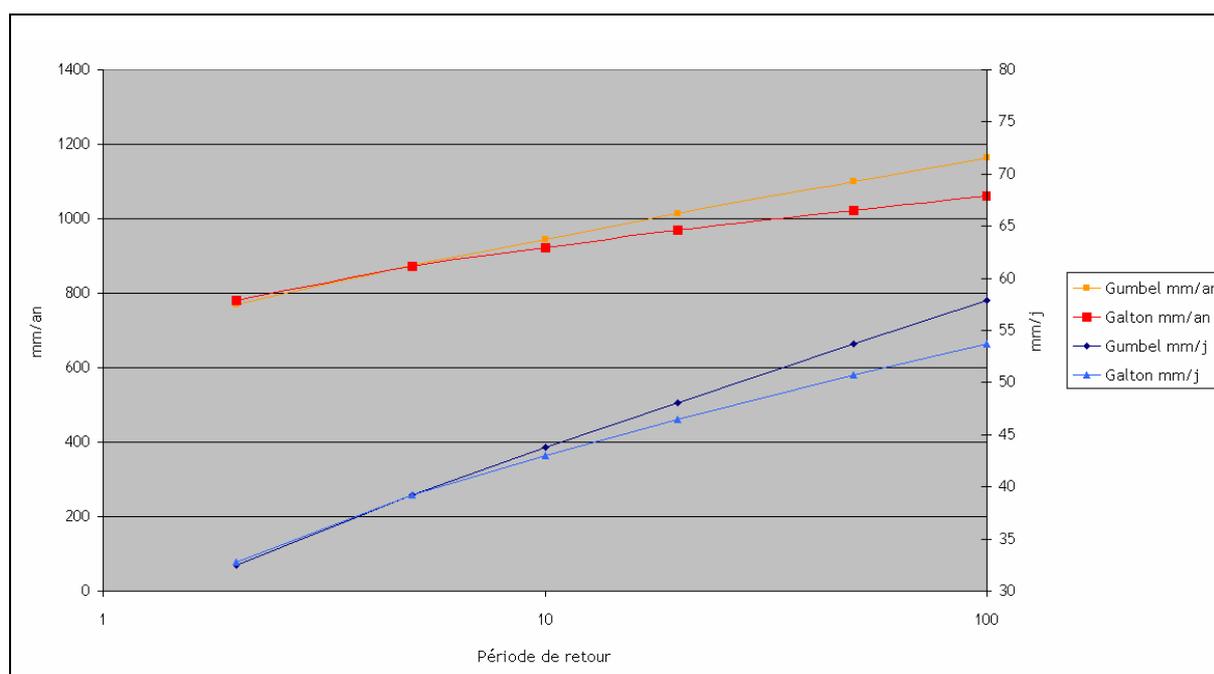


Figure 17: Valeurs statistiques de précipitation

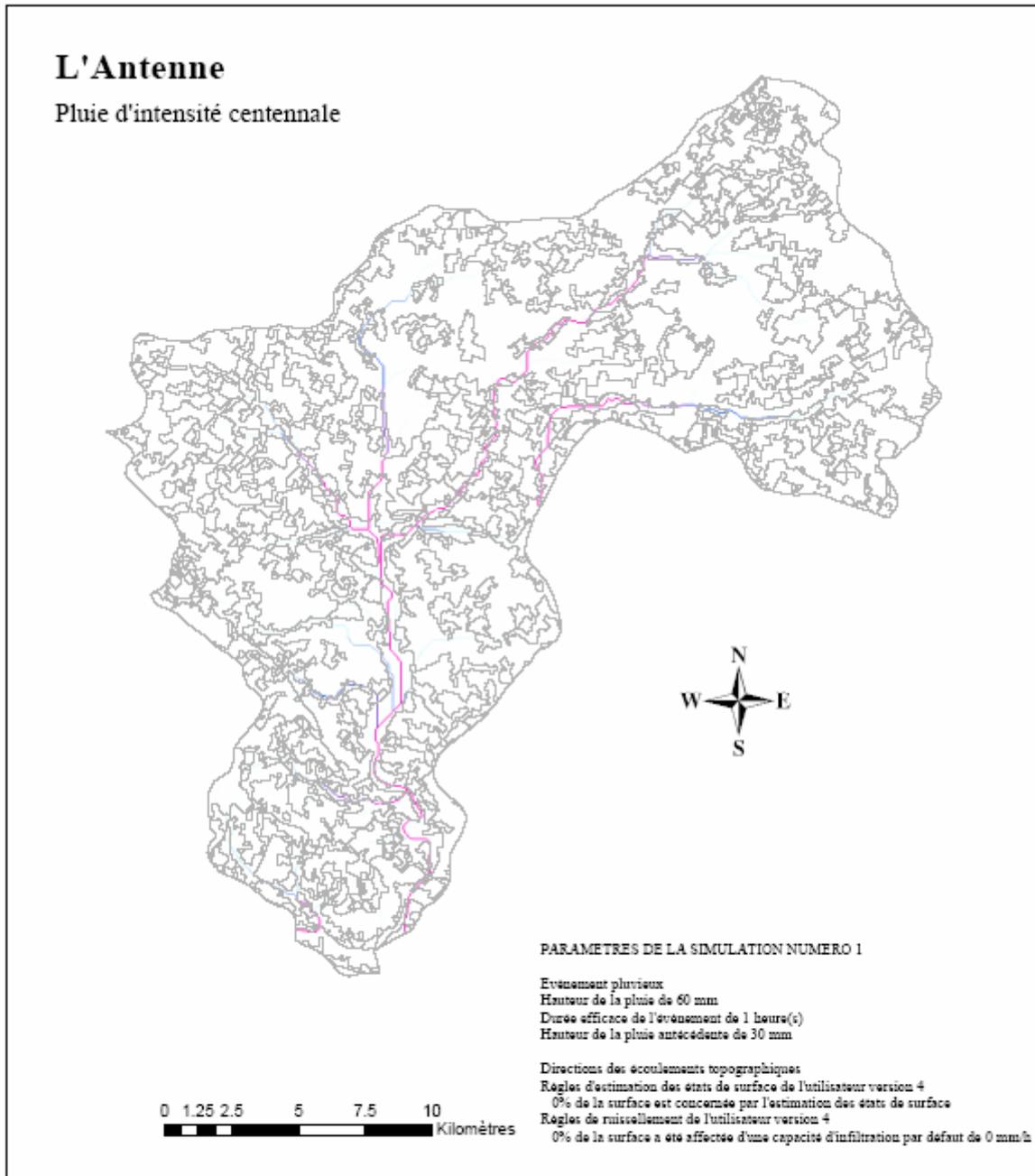
Ces valeurs permettent d'entrer dans STREAM des valeurs les plus fortes possibles sur le bassin de l'Antenne.

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

S.T.R.E.A.M.

Sealing and Transfer by Runoff and Erosion in relation with Agricultural Management
 Modèle de ruissellement et d'érosion STREAM version 3.2.4 du 09/03/2006
 Copyright © 2005 INRA 1994-2006. Tous droits réservés.



Légende

Volume d'eau accumulé en m3 (1)



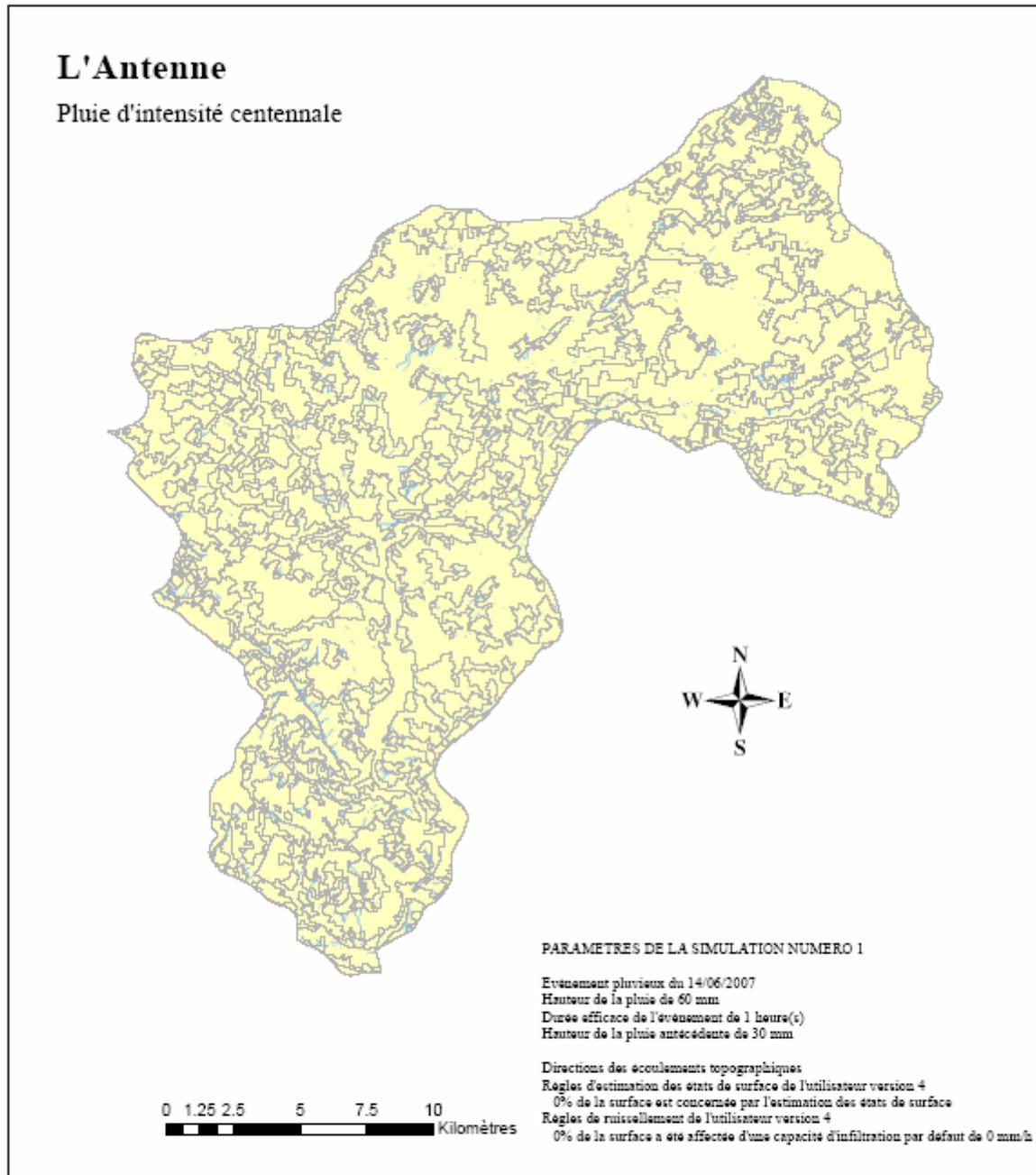
auteur : Eaucea, juin 2007
 sources : BD Carthage, Corin Land Cover 2000, MNT 50m
 Orthophotos IGN 2002, STREAM32

Figure 18: Modélisation du ruissellement pour une intensité de pluie centennale



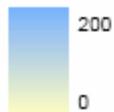
S.T.R.E.A.M.

Sealing and Transfer by Runoff and Erosion in relation with Agricultural Management
 Modèle de ruissellement et d'érosion STREAM version 3.2.4 du 09/03/2006
 Copyright © 2005 INRA 1994-2006. Tous droits réservés.



Légende

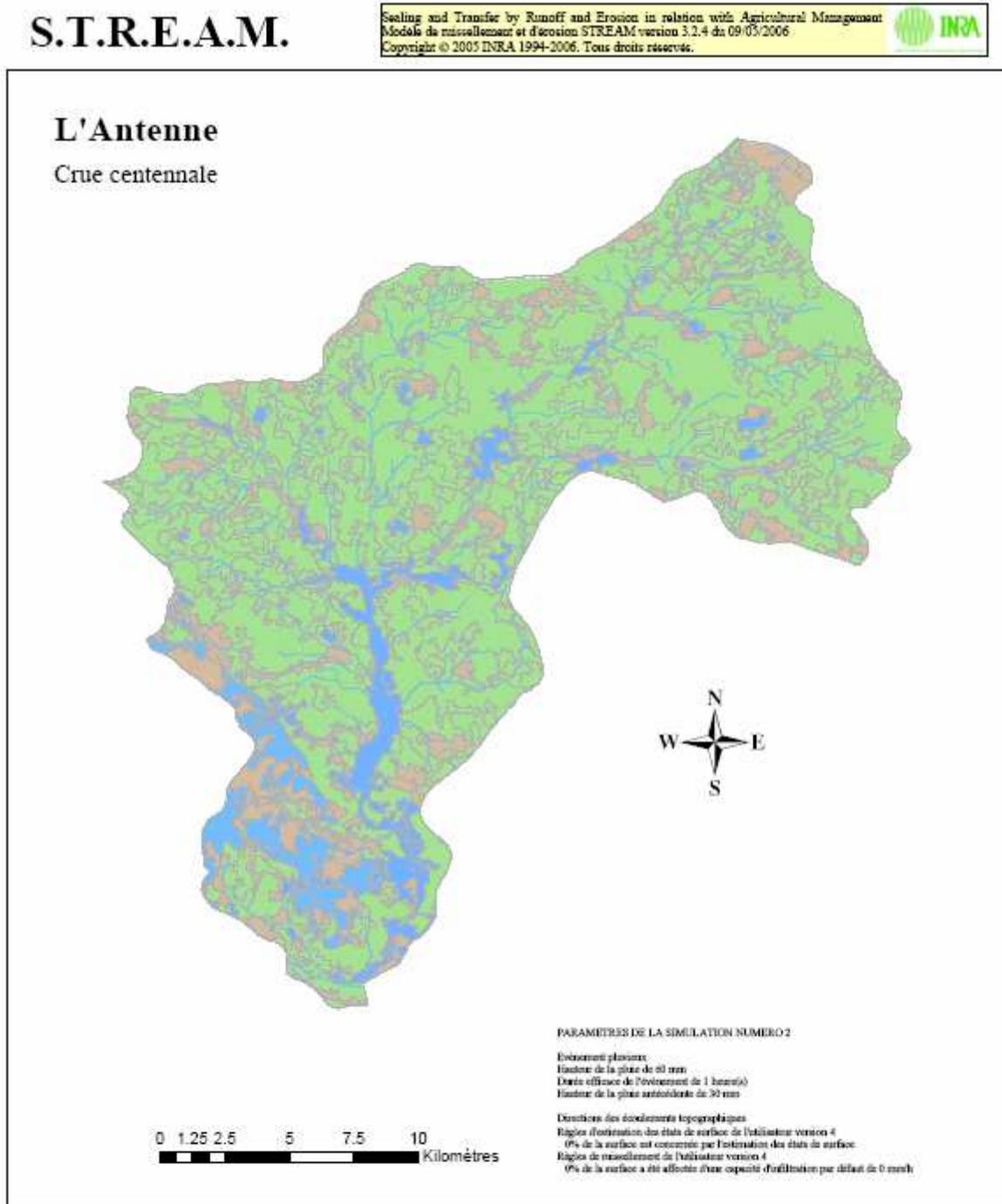
Infiltration réalisée en mm (1)



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

Figure 19: Modélisation de l'infiltration pour une pluie centennale

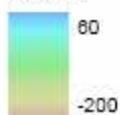




Légende

Bilan Infiltration / Ruissellement en mm (1)

Valeur



auteur : Eaucéa, juin 2007

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

Figure 20: Carte des zones d'infiltration et de ruissellement

(Pour observer les résultats obtenus pour des intensités de pluies de 50 et 34 mm/h, on pourra se référer à l'Annexe 4)

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'infiltré 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.

I.1.11. Le rôle des haies dans la régulation des flux d'eau.

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 risque 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 minimale dans la modulation du régime hydrologique de l'Antenne.

I.1.12. 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 sur-stockage.

II ETUDES SUR LA MODELISATION HYDROLOGIQUE DU BASSIN VERSANT.

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 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 GR4J² issu de la thèse de Charles Perrin², voir annexe 4, 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 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.
- Les données pluviométriques de l'année 1979 à 1987 de Matha.
- Les débits mesurés sur l'Antenne, sur le quai de la Distillerie de la Groie, de 1978 à 1987.

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 *HU1* (j)
- **D** : coefficient d'échanges souterrains (mm)

² C PERRIN : « Amélioration d'un modèle globale pluie débit au travers d'une approche comparative », 2000.

Avec : ETP : évapotranspiration potentielle, P_{perc} : percolation du réservoir sol S, HU1 et HU2 : hydrogrammes unitaires, Q_r : débit ruisselé, Q_1 : 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.

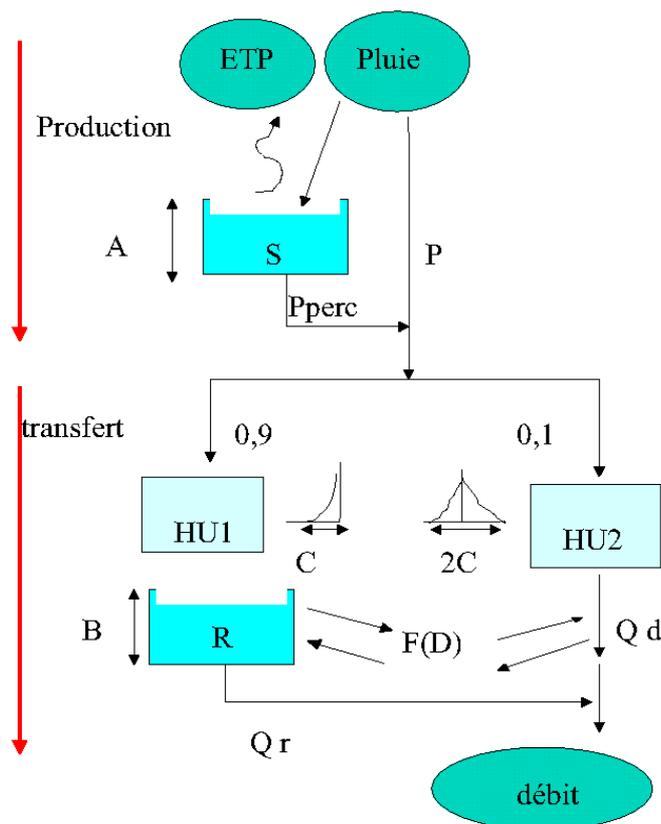


Figure 21 : schéma du modèle hydrologique GR4J.

La pluie tombant sur le bassin versant se divise entre une partie remplissant le premier réservoir (réservoir de production) P_n et une partie ruisselant directement sur le bassin P . P_n 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 P_{perc} et de la pluie brute va contribuer au remplissage du second réservoir (réservoir de routage) qui va se vidanger avec un débit Q_r .

Les 10% restant vont contribuer directement à la formation du débit à l'exutoire (Q_1).

Le paramètre D permet d'ajuster la répartition 10%-90% (prédéfinie) et rendre le modèle plus proche de la réalité.

La somme des débits ($Q_r + Q_1$) 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).

$$Nash = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{obs}(i) - Q_{cal}(i))^2}{\sum_{i=1}^n (Q_{obs}(i) - \overline{Q_{obs}})^2} \quad R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{obs}(i) - Q_{cal}(i))^2}{\sum_{i=1}^n (Q_{obs}(i))^2}$$

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.

$$Bilan = 100 * \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{cal}(i) - Q_{obs}(i))}{\sum_{i=1}^n Q_{obs}(i)}$$

Au pas de temps journalier, il permet de rendre compte de la capacité du modèle à restituer le ruissellement en période pluvieuse et l'évapotranspiration en période sèche. 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 associée au modèle GR4J sont exposées en annexe 5.

Le modèle CycleauPE

« Les modèles "réservoir" 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 :

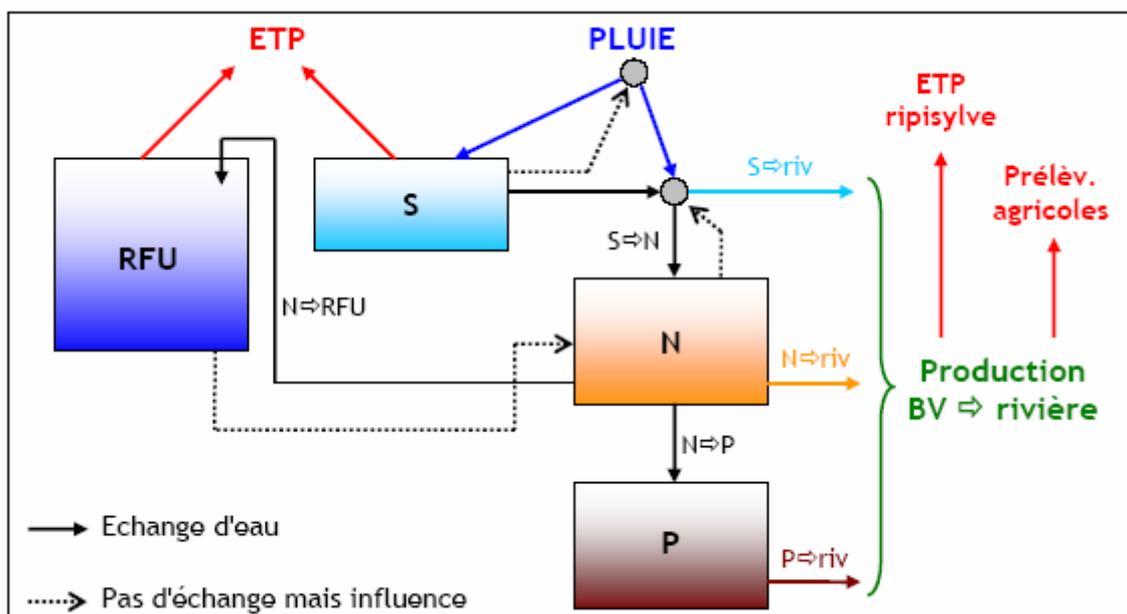


Figure 22: Schéma de fonctionnement du modèle CycleauPE

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/S_{max}) 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 S_{max} , 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/N_{max}), 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/RFU_{max} (plus l'humidité est forte, plus la vidange est importante). A l'inverse les échanges de N vers RFU (N-RFU) sont proportionnels à $1-RFU/RFU_{max}$ (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 GR4J:

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

Cette modification a été apportée au modèle CycleauPE afin de mieux pouvoir simuler 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 la robustesse du calage.

Problèmes liés aux données

II.1.1. 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 et de Cognac 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.

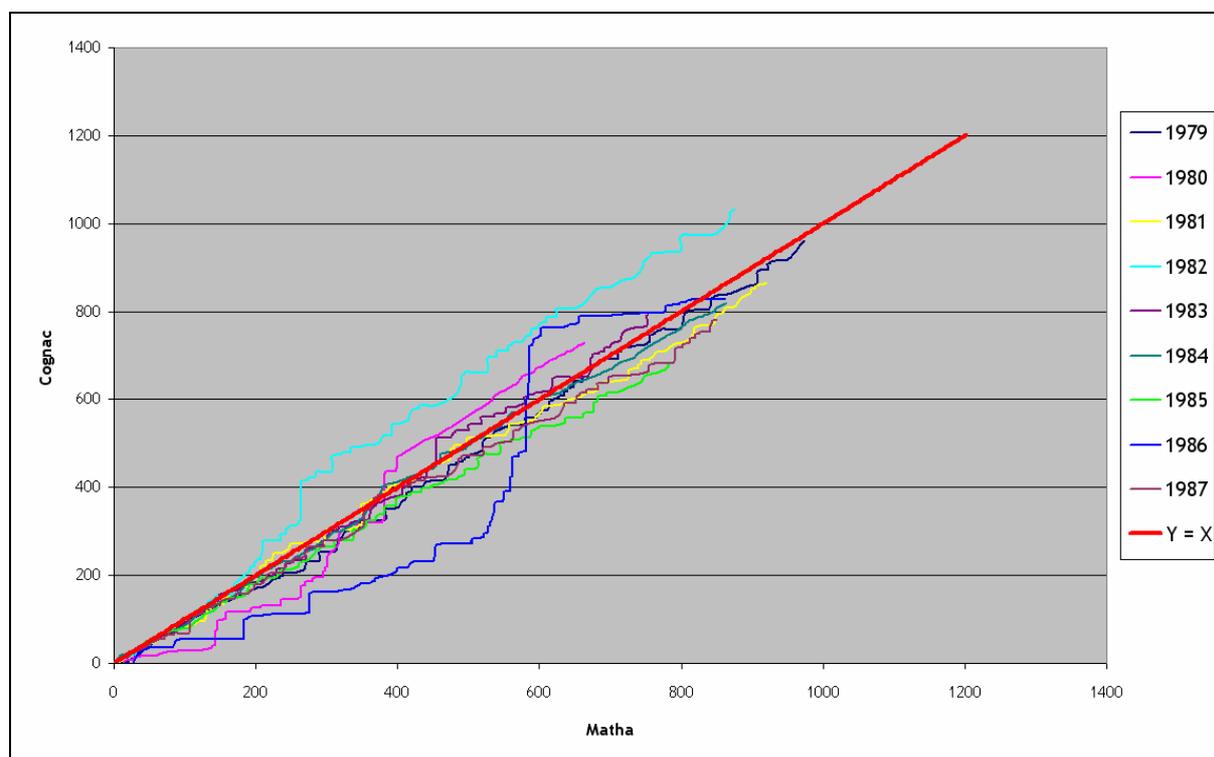


Figure 23: Graphique de comparaison des précipitations cumulées.

Etant donnée l'étendue géographique de la zone, une interpolation entre stations pluviométriques pourrait 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 ne sera pour le moment pas utilisée.

II.1.2. Les chroniques de débits

Les chroniques de débits mesurés à Javrezac sont tronquées systématiquement au dessus de 4 à 5 m³/s. Car la station était directement sous l'influence du fleuve Charente en période de crue, rendant incorrélabes 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 des Prévention des Crues) permettant des acquisitions correctes autant en période d'étiage que de crues. Pour pallier ce manque, une acquisition en continue à toutefois été réinstallée à l'emplacement de l'ancienne station limnimétrique.

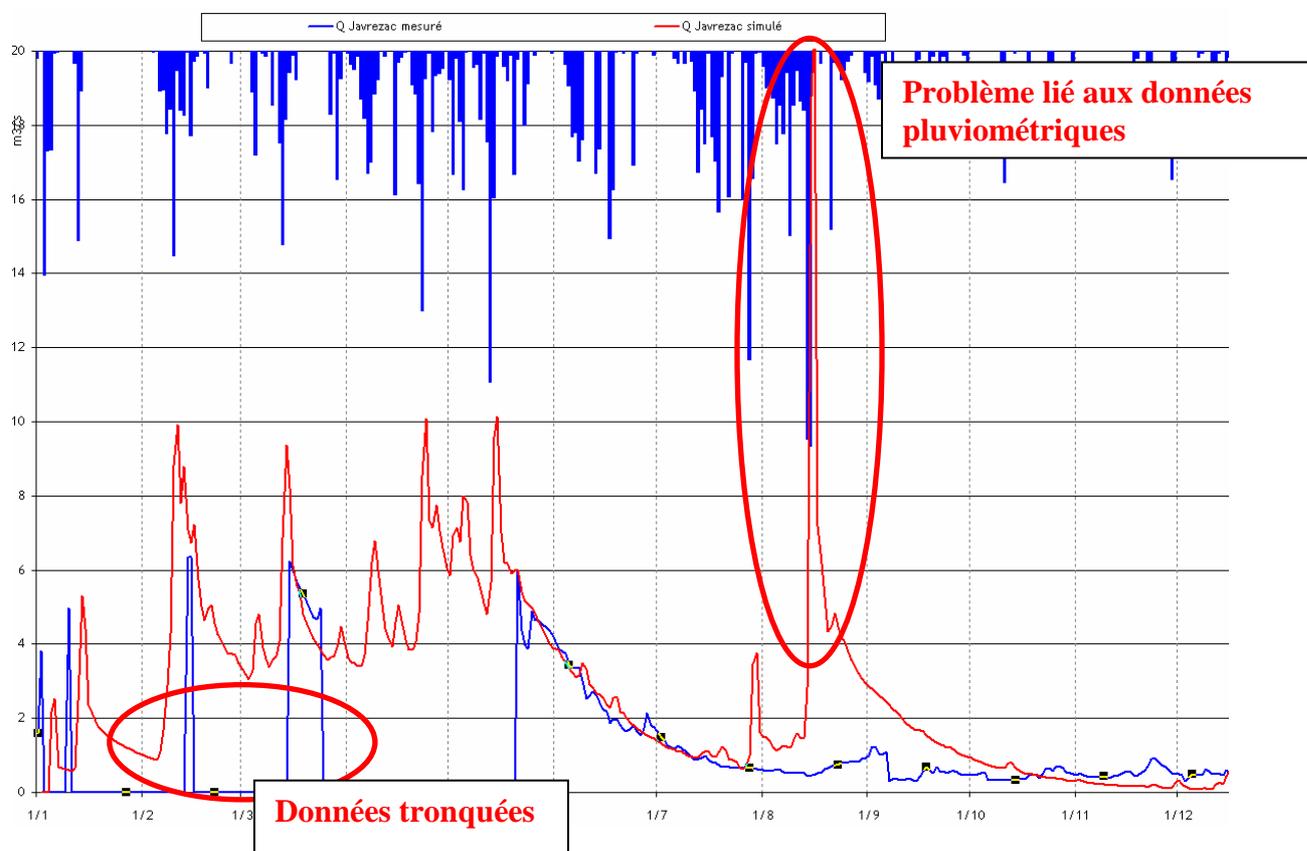


Figure 24: Illustration des problèmes liés à la mesure et aux données

De plus, certains événements observés sur les chroniques peuvent être mis en doute. Ainsi, à plusieurs reprises, des sauts brutaux de débits ont 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.

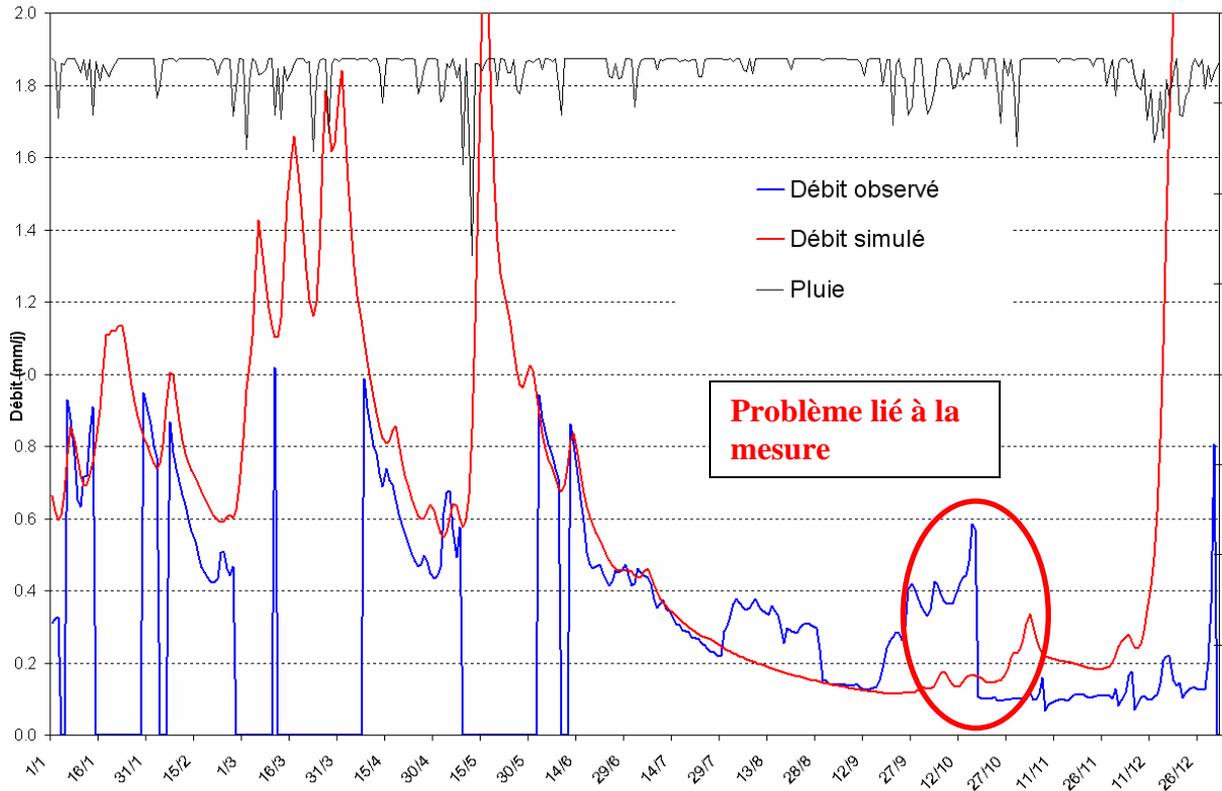


Figure 25: Illustration des problèmes liés à la mesure

Résultats des modélisations

II.1.3. 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 (année où la courbe des débits observés est la moins souvent tronquée et où les données pluviométriques sont complètes).

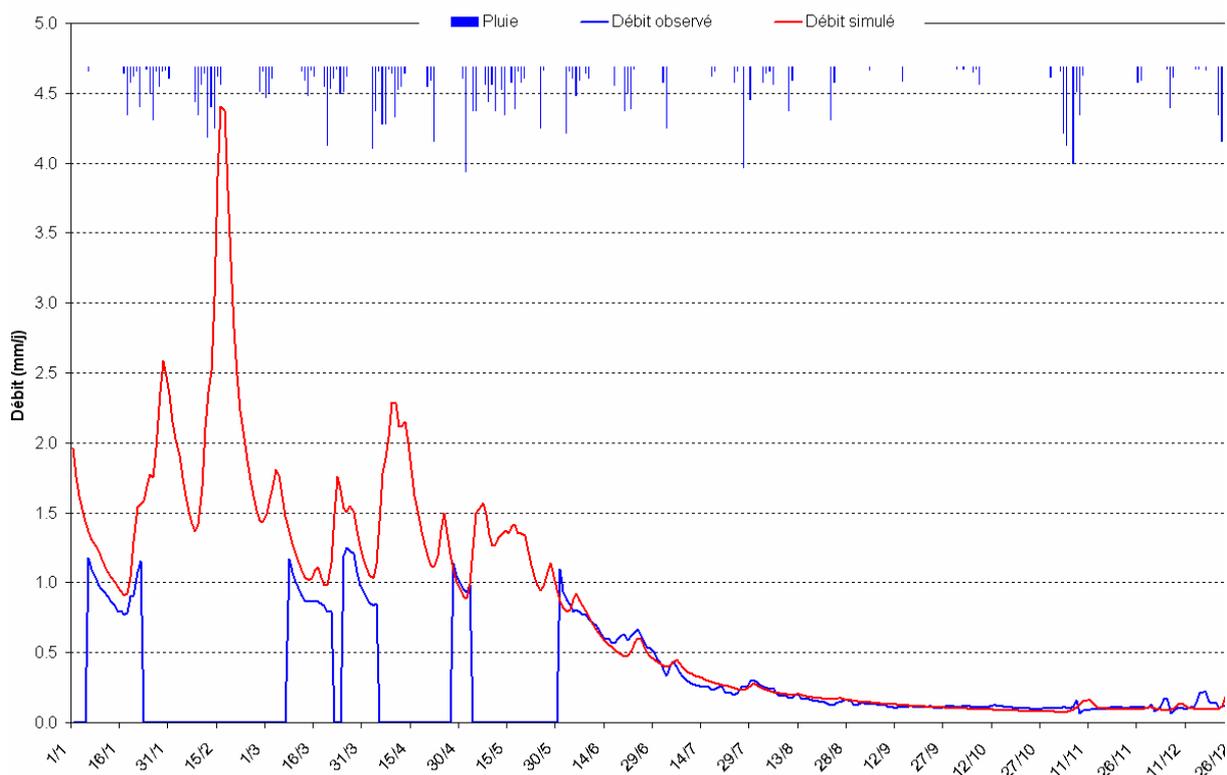


Figure 26: Résultats du modèle GR4J'

II.1.4. 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.

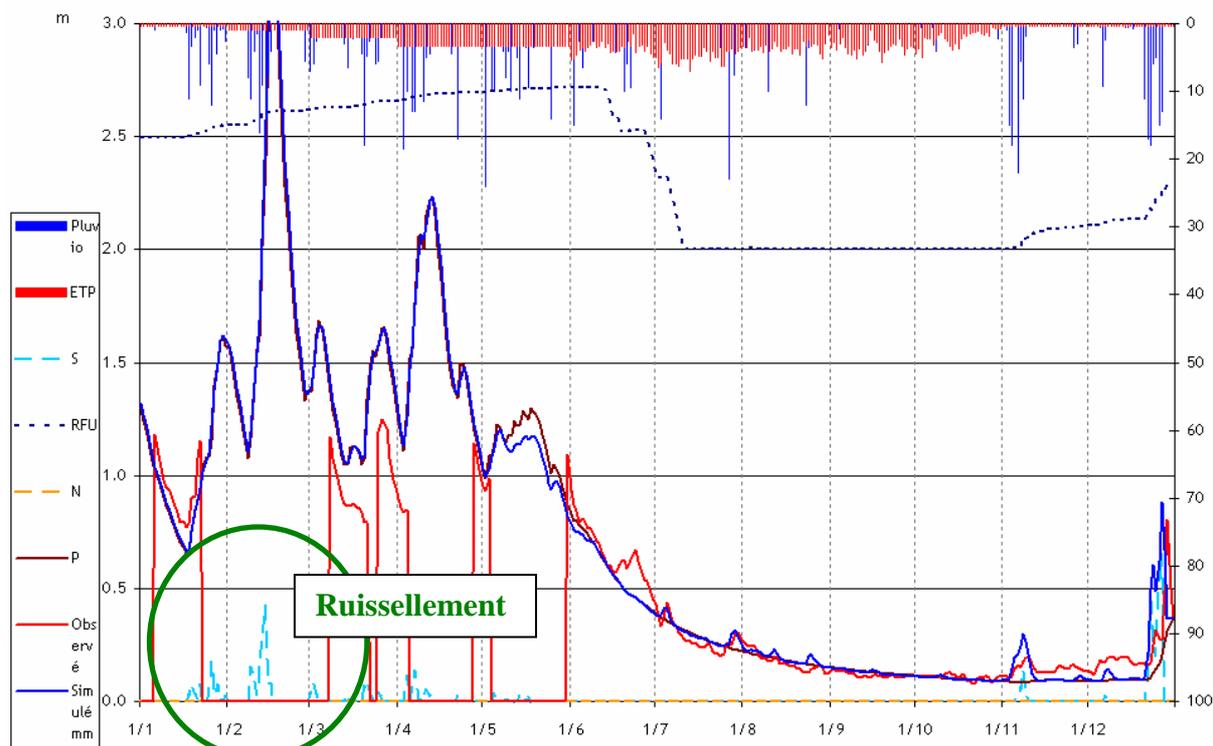


Figure 27: Détail de la contribution des différents réservoirs à l'écoulement

II.1.5. 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 importantes que le modèle CycleauPE, avec un écart de l'ordre de 10 à 20 % d'écart. 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 des deux méthodes.

Les données acquises à l'aide de la station d'acquisition automatique de Javrezac 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.

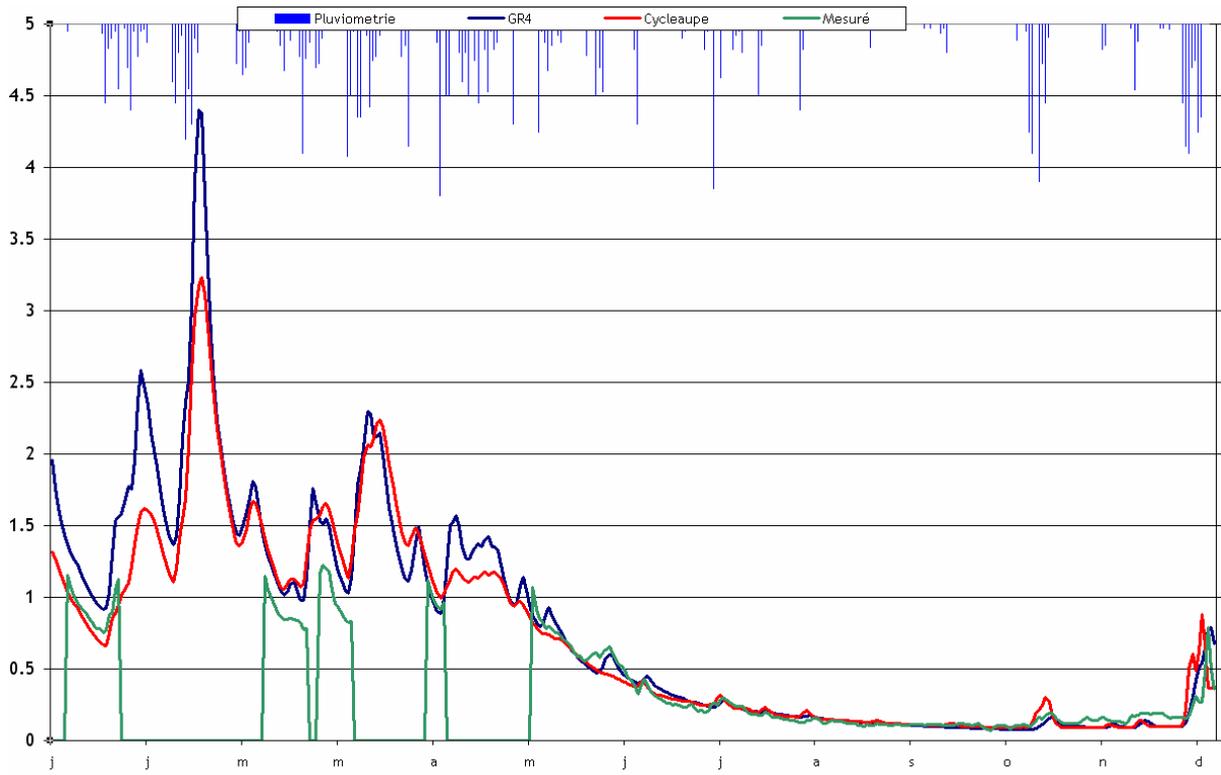


Figure 28: Comparaison des résultats des deux modèles pour l'année 1985.

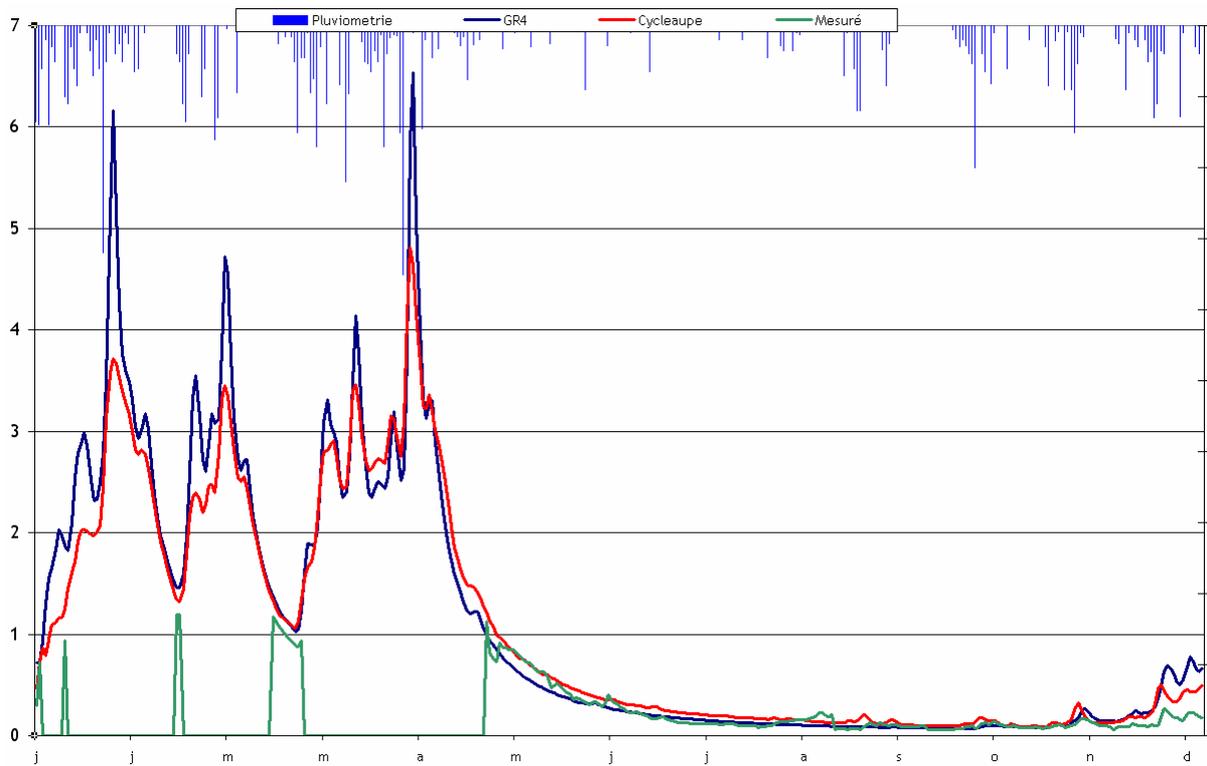


Figure 29: Comparaison des résultats des deux modèles pour l'année 1986.

III ETUDE DES SYSTEMES AQUIFERES

Suivi des nappes :

L'analyse des chroniques piézométriques disponible sur les piézomètres de Ballans et de Juillers permet de mettre en évidence un comportement similaire des variations dans ces deux piézomètres. Le graphique suivant illustre ce comportement:

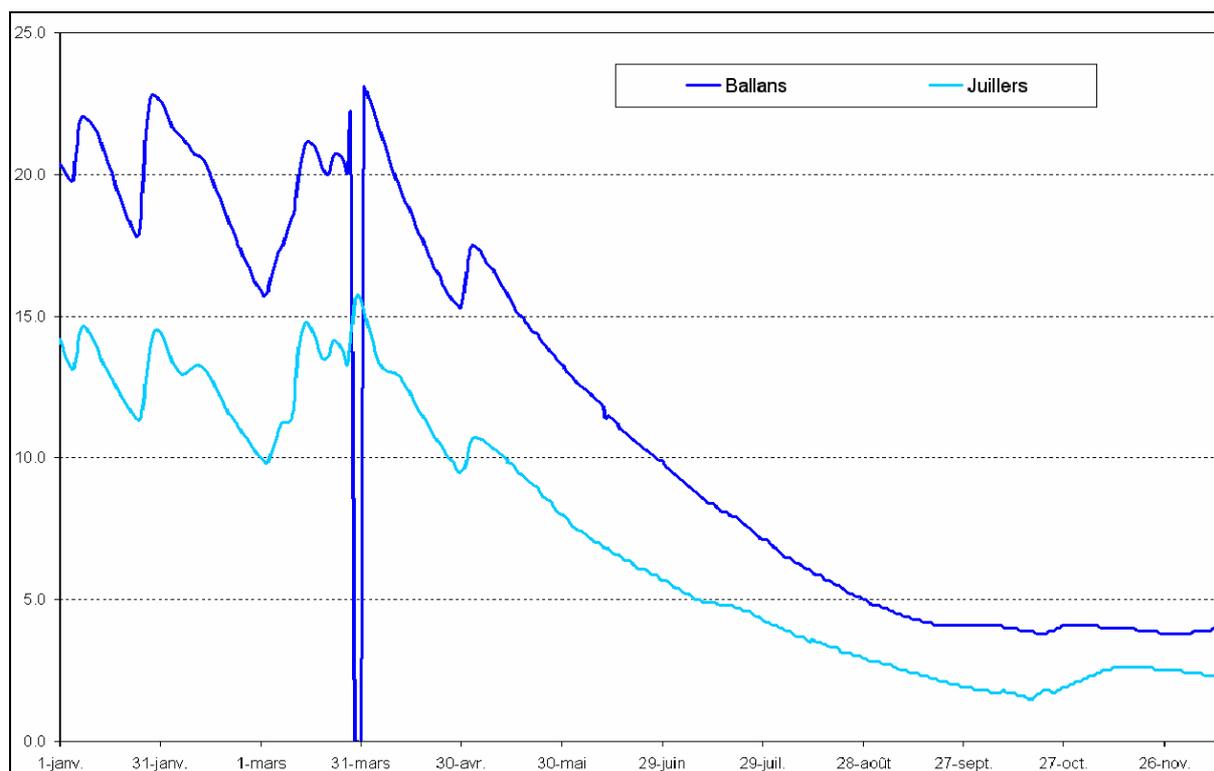


Figure 30: Niveau piézométrique à Ballans et Juillers pour l'année 2001.

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. Il est donc moins représentatif de la zone d'étude.

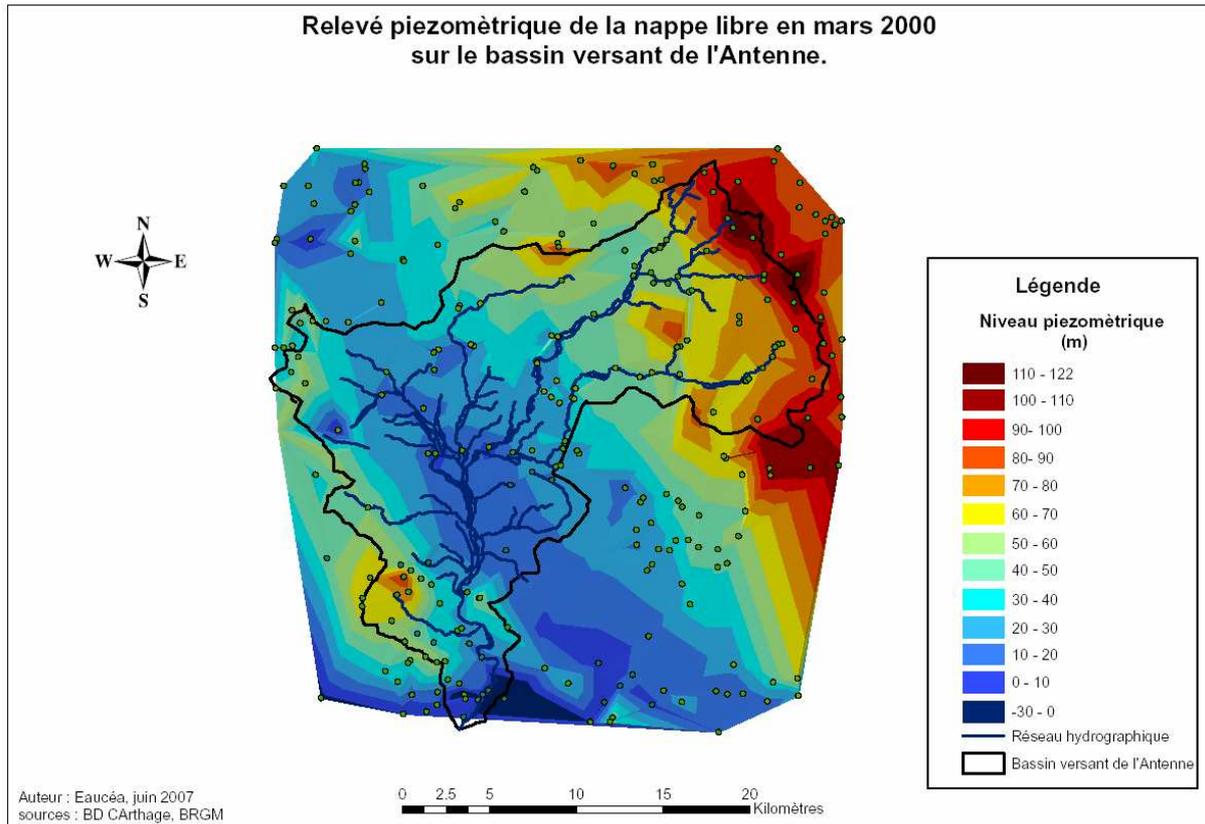


Figure 31: Carte piézométrique

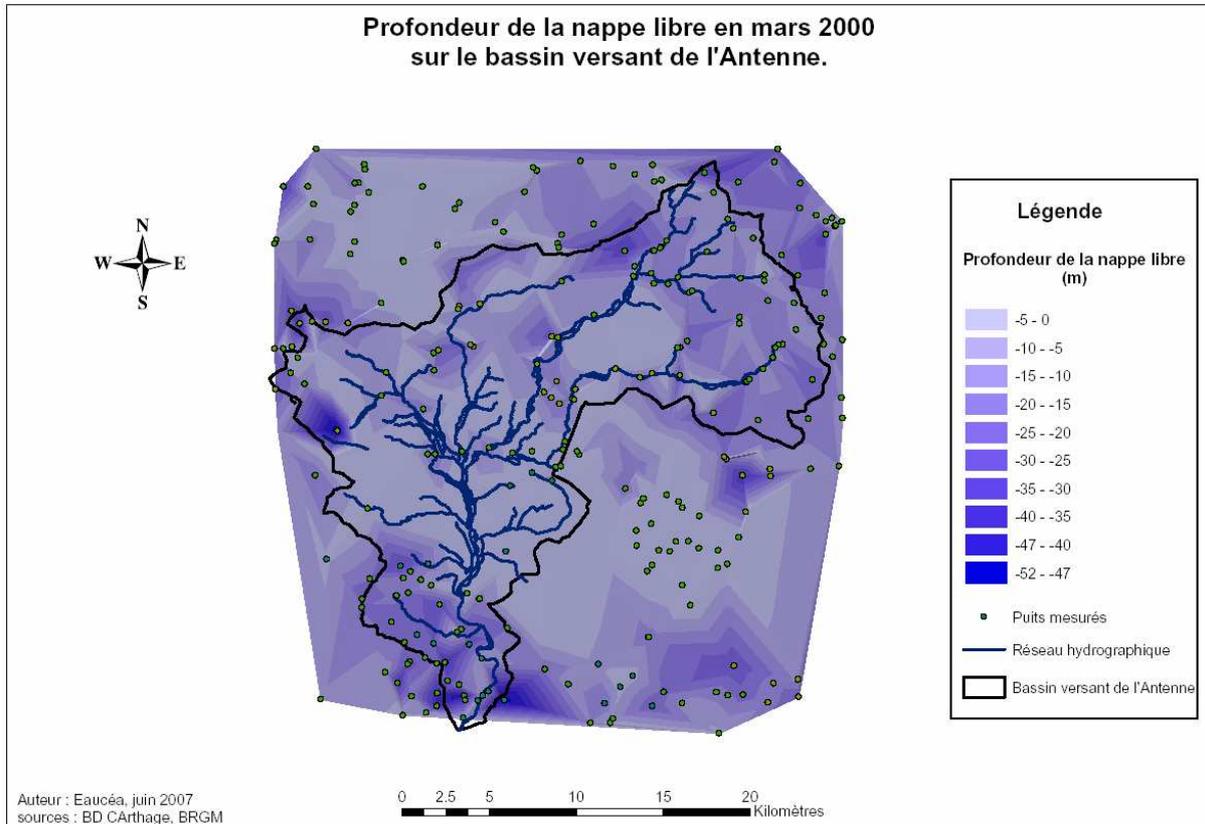


Figure 32: Carte des profondeurs de nappe

Les variations piézométriques 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. Cette recharge s'effectue toutefois que lorsque le sol est suffisamment humide pour favoriser plus l'infiltration que l'évapotranspiration. 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.

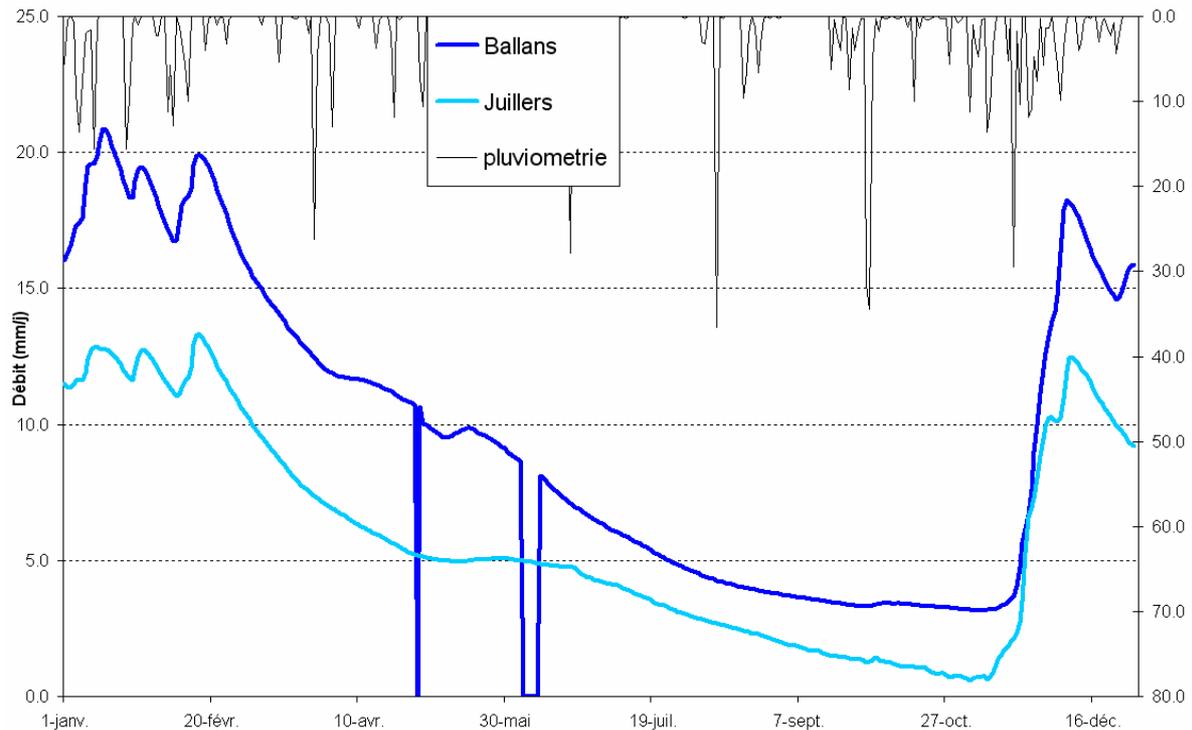


Figure 33: Niveau piézométrique à Ballans et Juillers pour l'année 1996

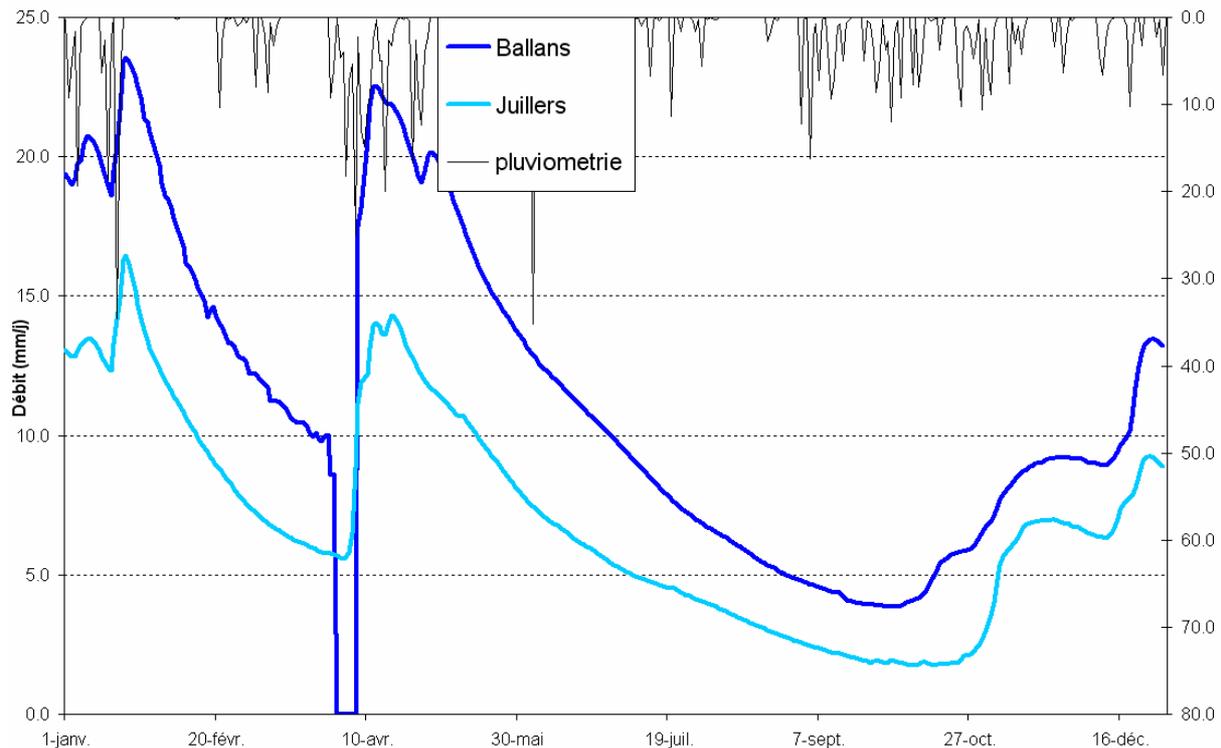


Figure 34: Niveau piézométrique à Ballans et Juillers pour l'année 1998

Ces graphiques soulignent l'importance de la période de recharge des nappes vis-à-vis des niveaux à l'été. Du fait de l'inefficacité des précipitations à recharger efficacement les nappes en période estivale, le niveau des nappes fin mai début juin est déterminant. Ainsi les années où le niveau est élevé en mai sont beaucoup moins déficitaires 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 ressources 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:

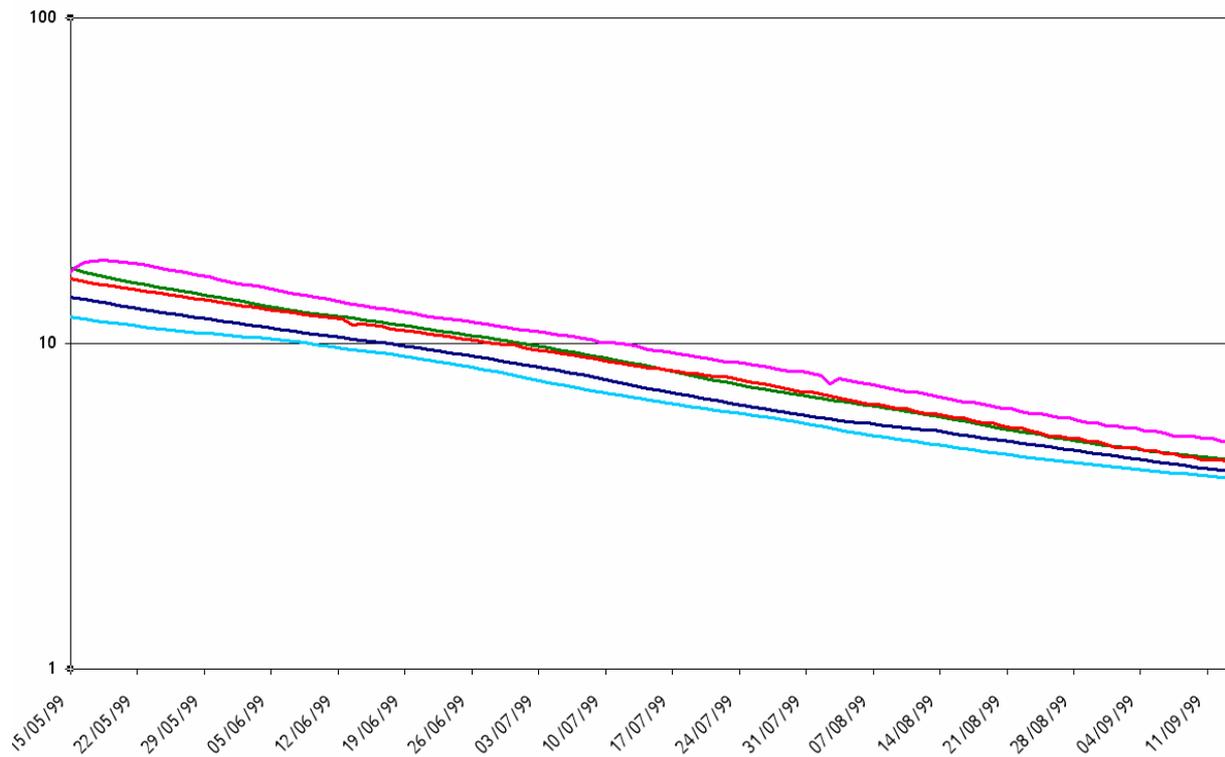


Figure 35: Ajustement logarithmique des niveaux piézométriques de Ballans

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 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.

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 a tendance à diminuer pour atteindre des valeurs de coefficient de maillet avoisinant les 0.005. Ceci peut s'expliquer par deux hypothèses:

- Le tarissement d'un réservoir ne suit pas parfaitement une loi de maillet (Cf loi de vidange du réservoir P du modèle CycleauPE). Ainsi le coefficient de tarissement diminue en fonction du niveau contenu dans le réservoir.
- Les précipitations de début d'automne commencent à recharger la nappe ou tout au moins ralentissent ou stoppent le tarissement.

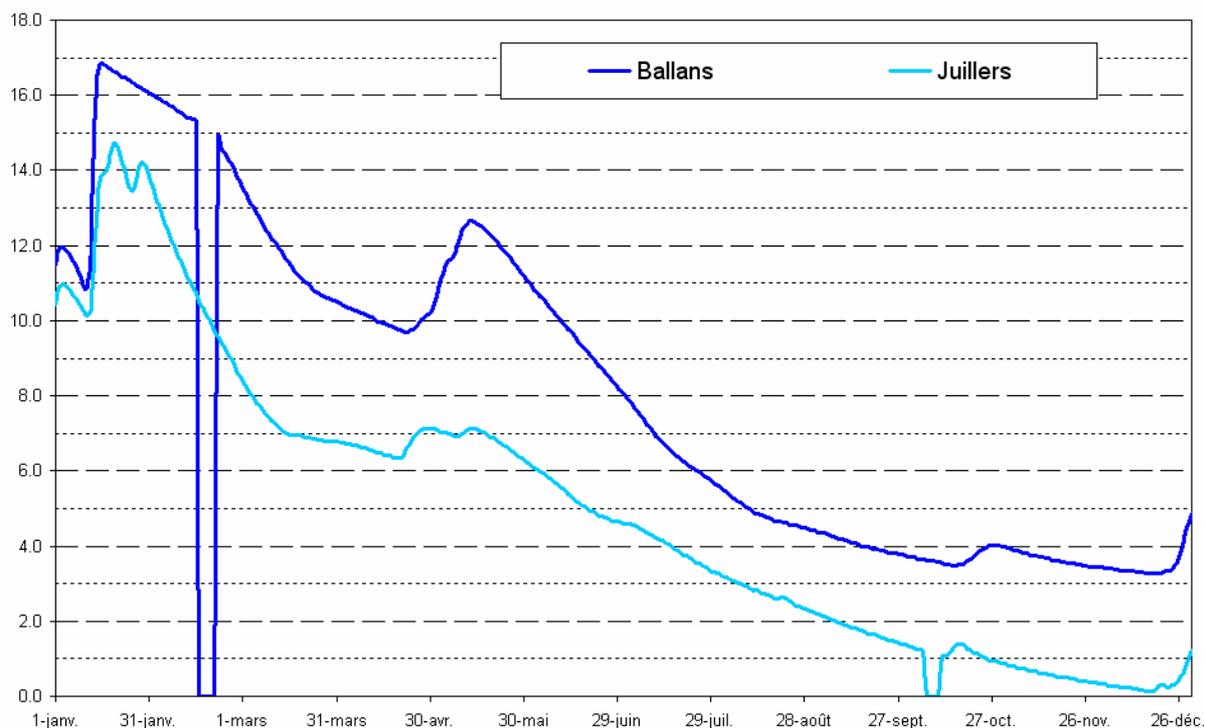


Figure 36: Illustration de la baisse des niveaux piézométriques au delà des seuils d'alerte

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 assècs observés.

Il conviendra donc à l'avenir d'essayer de recenser les pompages potentiellement dangereux pour le maintien 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.

Mise en relation Assecs-niveau piezo.

Les observations menées les deux années passées sur les assecs peuvent nous renseigner sur une possible relation directe entre niveau piézométrique général (Ballans ou Juillers) et la longueur et localisation des assecs. Les deux années de mesures réalisées ne permettent pas de conclure sur une réelle corrélation de ces phénomènes, même si une similitude importante semble se dessiner.

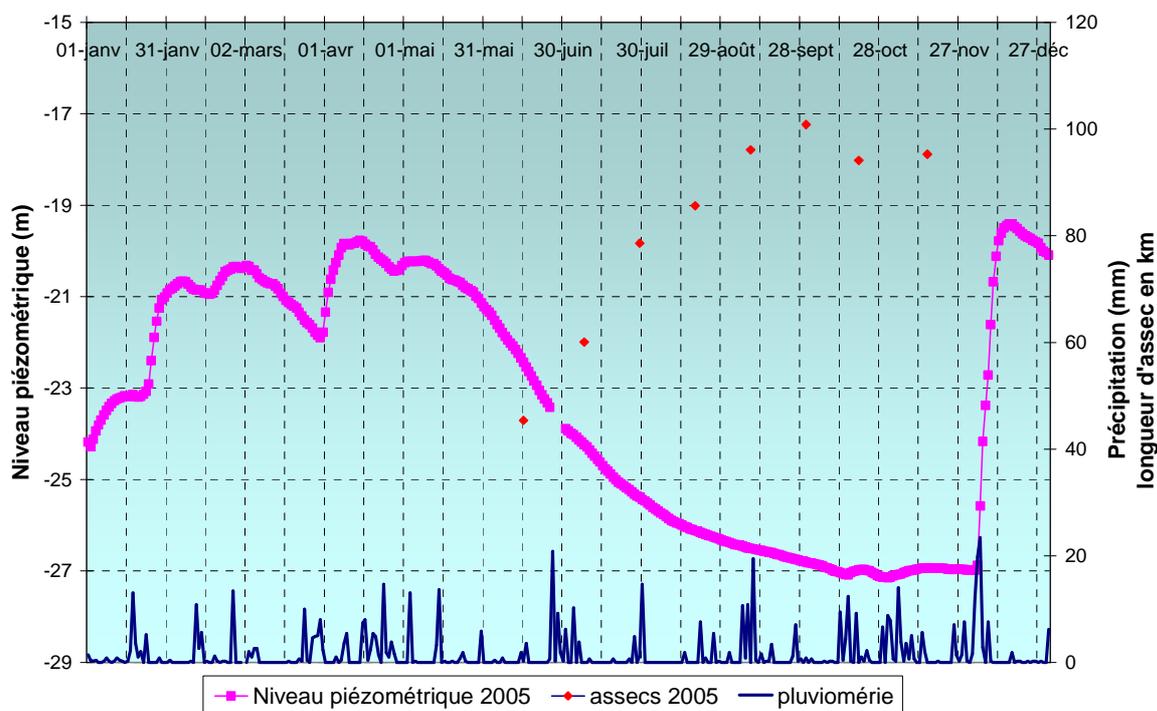


Figure 37 : Relation entre la piézométrie, la pluviométrie et la longueur d'assec en 2005

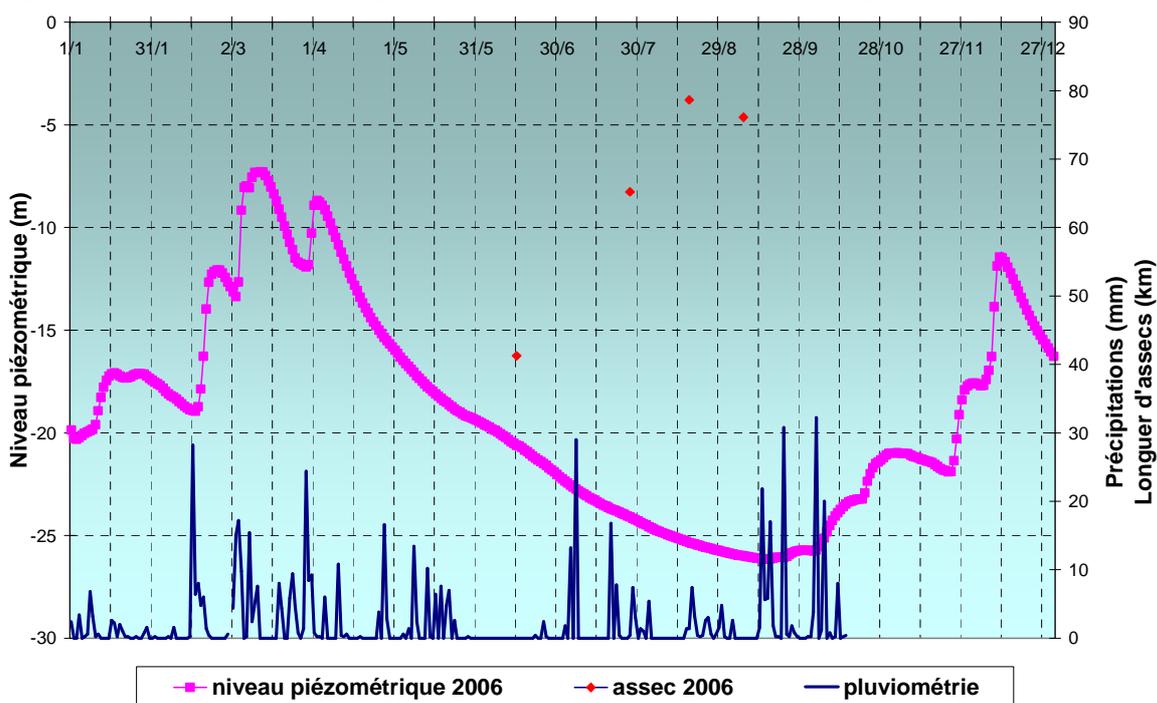


Figure 38 : Relation entre la piézométrie, la pluviométrie et la longueur d'assec en 2006

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

Tableau 8:Présentation des longueurs d'assecs en fonction de la piézométrie.

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 observé à Ballans. Une année supplémentaire d'observation renseignera sur la validité de cette hypothèse.

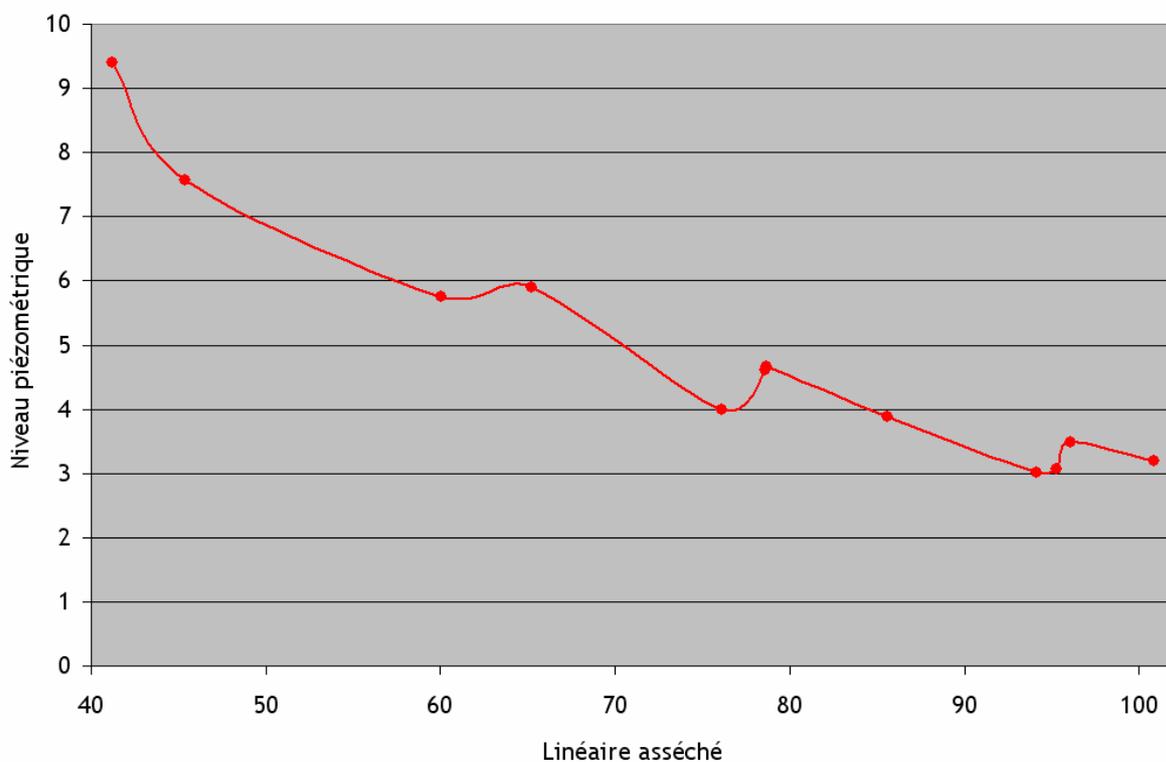
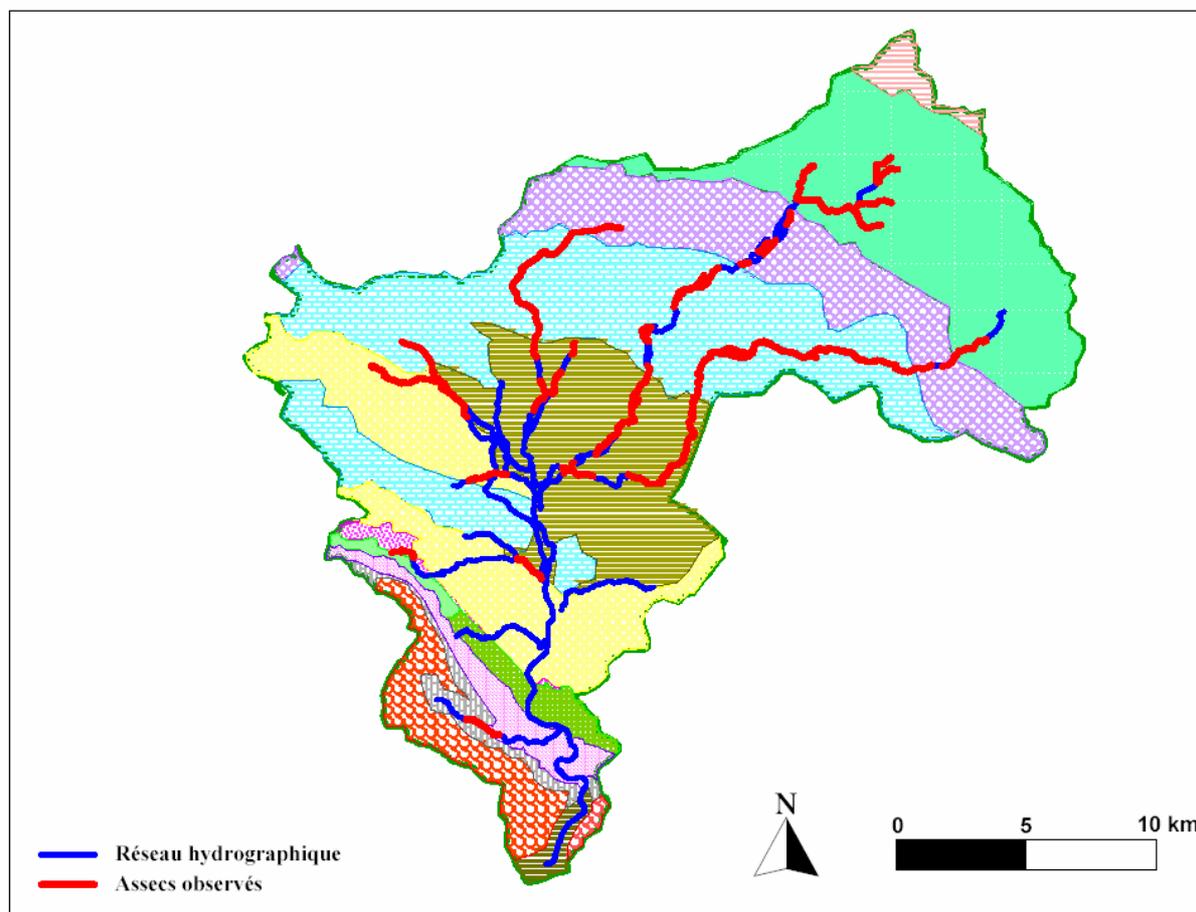


Figure 39:Présentation des longueurs d'assecs en fonction de la piézométrie.

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 des assecs aussi importants mais un peu plus tard. Il est à noter l'apparition ponctuelle des assecs sur l'Antenne qui témoigne des zones d'affleurement de nappes avec son cours. Ce phénomène s'observe également sur ses affluents et est similaire d'une année sur l'autre.



Il a été constaté une apparition étrange des assecs sur le Veyron. En effet, son cours c'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 générale. Des phénomènes similaires, plus ponctuels, sont observables sur des petites portions de cours d'eau.

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

Il a été constaté précédemment que, dans la modélisation, le réservoir P régie les écoulements sur le BV de l'Antenne et retranscrit ainsi l'impact de la nappe sur les écoulements de surface. De plus, il a été constaté que les variations de hauteurs d'eau dans le réservoir P sont similaires à ce qui peut être observé aux piézomètres de Ballans et Juillers : présence d'un seuil, 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.

Les graphiques suivants représentent, pour l'année 1997 et 2001, la piézométrie observée à Ballans et Juillers d'une part, et les hauteurs d'eau simulées dans le réservoir P d'autre part.

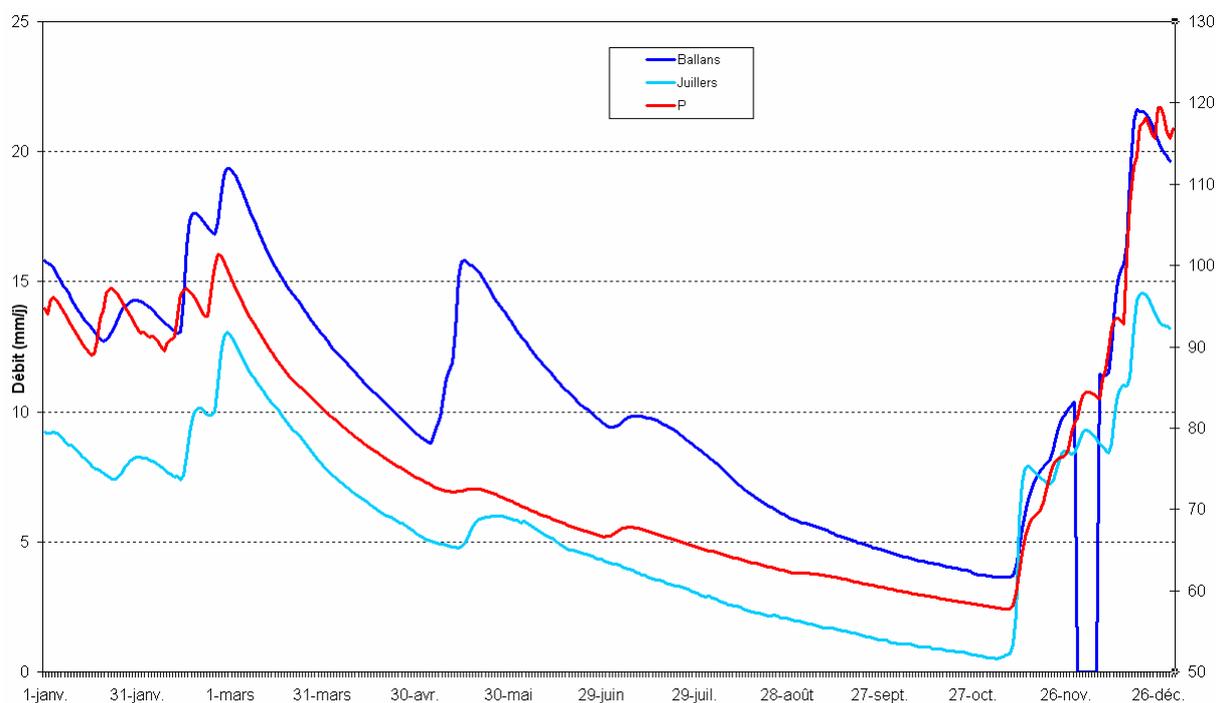


Figure 41: Comparaison de la piézométrie et des hauteurs d'eau dans le réservoir P en 1997.

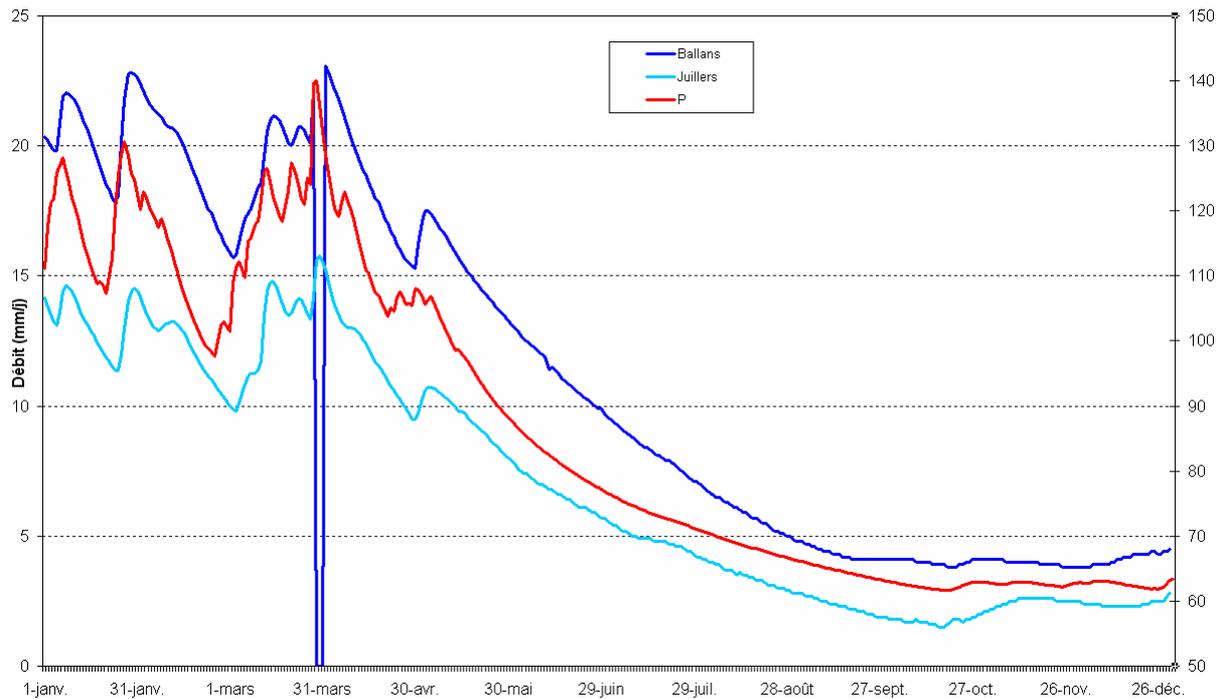


Figure 42: Comparaison de la piézométrie et des hauteurs d'eau dans le réservoir P en 2001.

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.

La piézométrie, un outil de prévision et de gestion.

Simulation du tarissement de la nappe et prévision de franchissement des seuils d'alerte.

III.1.1. Objectif

Il a été démontré précédemment que la loi de Maillet régissait la vidange de l'aquifère. 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.

III.1.2. Méthodologie

La première étape consiste à amener les valeurs de piézométrie dans des valeurs positives afin de pouvoir utiliser une fonction logarithmique. Ceci est réalisé en additionnant une valeur de 30 m à la mesure effectuée à Ballans (- X m). Cette valeur de 30 m a été préférée à la cote NGF exacte du piézomètre de Ballans afin de permettre de travailler dans une fourchette de valeur faible. Ceci permet d'obtenir un écart entre les deux prévisions plus faibles (exponentiel d'un petit nombre). Ce changement d'échelle amène les seuils d'alerte aux valeurs de:

- 6 mètres : Première seuil de restriction horaire.
- 5 mètres : Deuxième seuil de restriction horaire.
- 4 mètres : Seuil de restriction totale.

Pour une année donnée, il s'agit de repérer (selon la date à laquelle on se situe) une portion de courbe de tarissement continue sur la période la plus longue possible et qui est régie par une loi de Maillet. Il faut alors noter le coefficient alpha qui lui correspond. Sa valeur tend vers une valeur de 0.01 mais varie légèrement en fonction du niveau piézométrique de départ. Plus ce niveau est haut, plus le coefficient est fort.



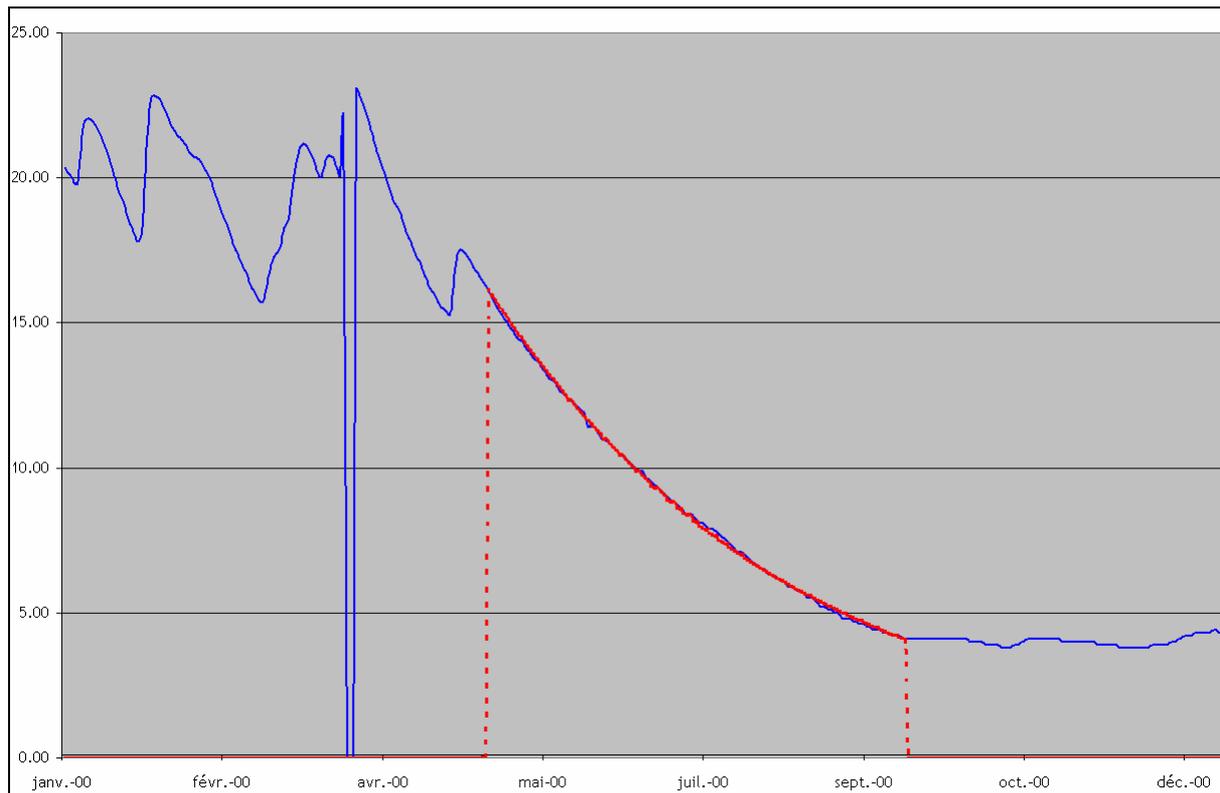


Figure 43: Approche du tarissement par la loi de Maillet

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

$$\text{Alpha 1} = \alpha + 0.001$$

$$\text{Alpha 2} = \alpha - 0.001$$

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 cas optimiste et pessimiste 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).

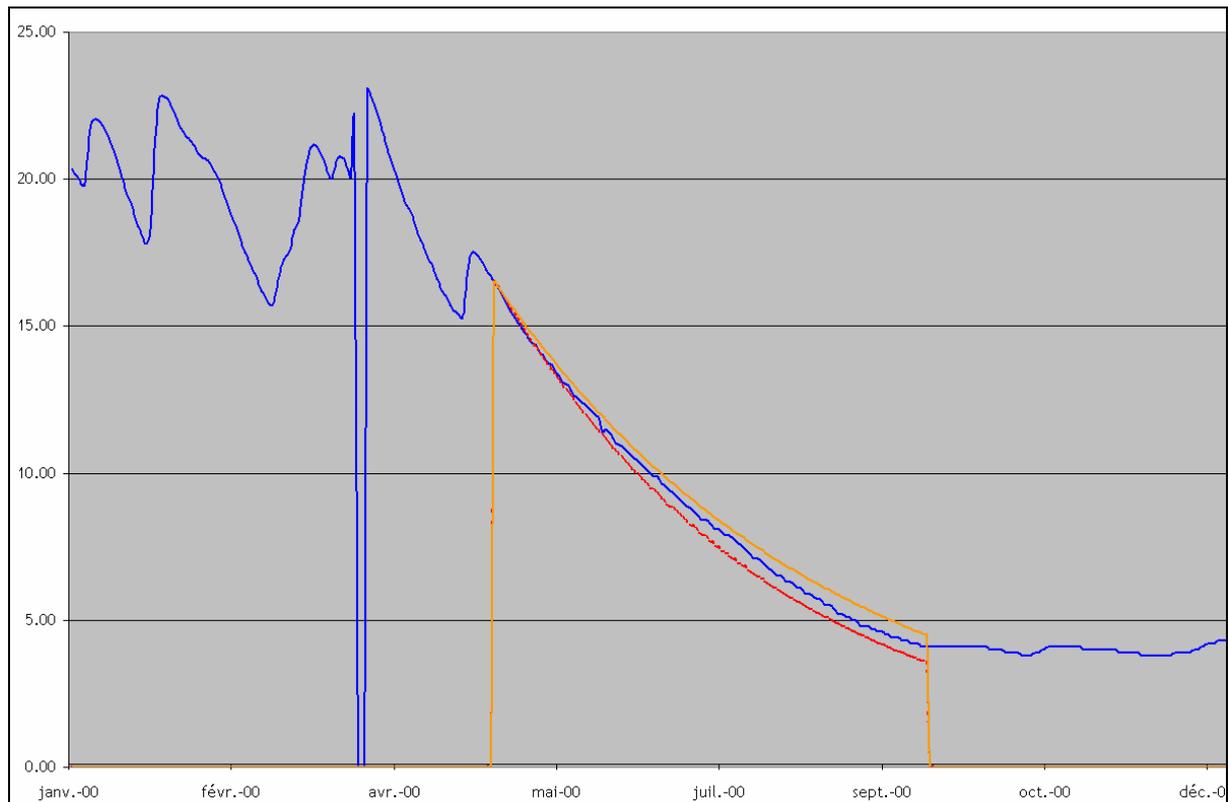


Figure 44: Exemple de prévisions réalisables à l'aide de la loi de Maillet

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. Il s'agit alors de lire les deux dates obtenues pour chaque valeur de seuil franchie successivement par ces deux courbes (soit des profondeurs de la nappe correspondant à des valeurs de -24 m, -25 m et -26 m à la station de Ballans).

Par exemple, sur le piézomètre de Ballans, pour l'année 2007, le coefficient alpha obtenu sur la période 20/04 au 17/05 est de 0.01. Les 2 équations de Maillet respectivement de coefficient 0.011 et 0.009 permettent d'obtenir la date du 1^{er} seuil :

- le 5 juillet dans le cas pessimiste (avec $\alpha = 0.011$)
- le 16 juillet dans le cas optimiste (avec $\alpha = 0.009$).

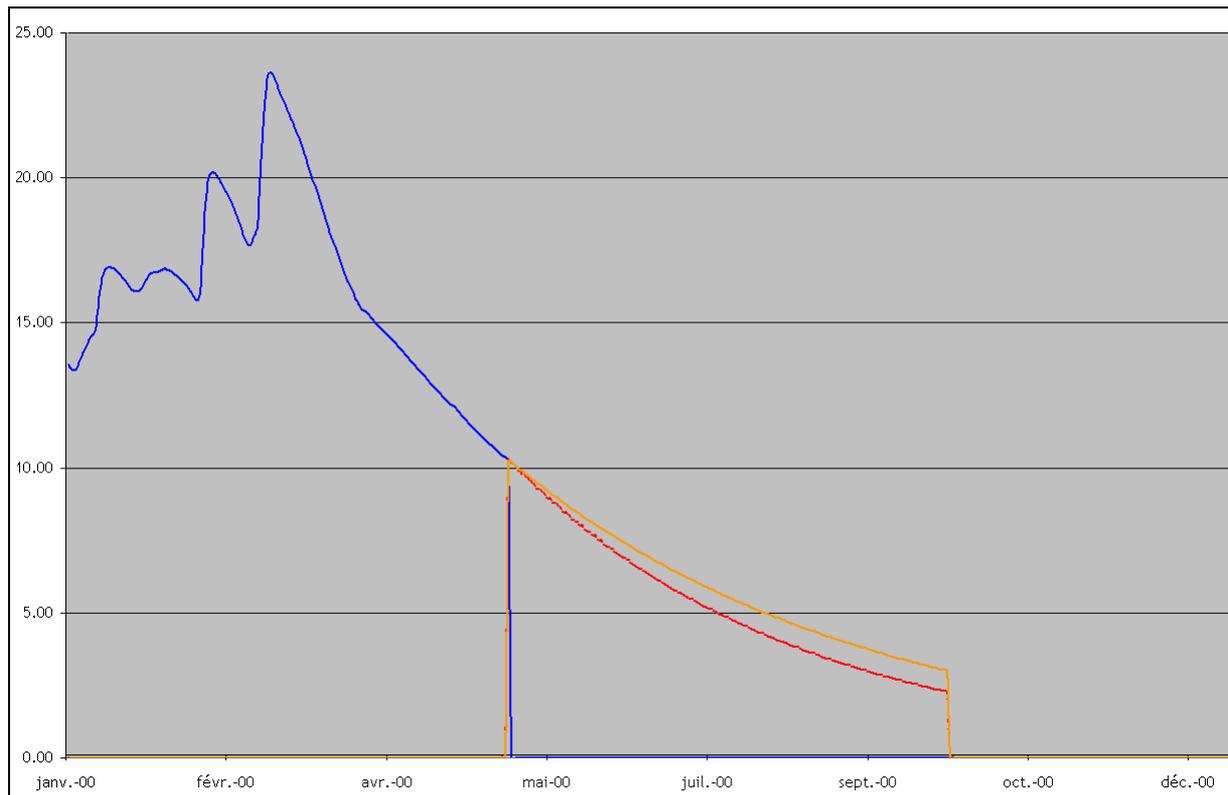


Figure 45: Prévisions pour l'année 2007

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

Domaine de validité :

- Le coefficient alpha initial doit être calculé sur des hauteurs piézométriques comprises entre 15 m et 4m (seuil de restriction totale). Au delà de ces valeurs le coefficient alpha est trop variable pour assurer une bonne prévision
- Il est déconseillé de choisir un coefficient alpha dans le cas pessimiste inférieur à la valeur 0.009

Critique de la méthode :

Cette méthode permet de prévoir les cas les plus pessimistes et ne peut pas permettre d'évaluer l'impact de potentielle recharge. De plus quand une recharge est observée il est assez difficile de réévaluer un tarissement avant une stabilisation de la vidange et donc environ trois semaines.

Estimation des volumes d'eau stockables dans les nappes.

III.1.3. 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.

III.1.4. 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	22.5	3.9	25
1999	16	4	14
2001	17.4	4.2	20

Tableau 9: Présentation des 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 m³.

A ce volume doit être ajouté le volume qui s'écoule dans la Charente. 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 m²

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 mètre de hauteur et une conductivité hydraulique de 10⁻³ m.s⁻¹, le volume écoulé durant une période de tarissements est d'environ 3 à 4 millions de m³. 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'infiltré vers les réservoirs plus profonds.

III.1.5. 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 au piézomètre de Ballans (-18.25).

La piézométrie de niveau bas disponible est celle réalisée par le BRGM 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 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.

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 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 m³, et de 18 millions sur l'ensemble du BV par extrapolation en fonction de la surface. Les 10 millions de m³ stockés au niveau du pays bas sont assez bien approchés. En revanche les 18 millions de m³ 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.

Conclusion

L'objectif de cette étude était de comprendre le fonctionnement hydrologique générale 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 la compréhension générale du fonctionnement hydrologique du bassin versant, il ressort de cette étude une importance majeure des écoulements souterrains sur les débits. Au vu de ce fonctionnement, il apparaît une inadéquation d'aménagements de type haie ou bande enherbée sur les écoulements du bassin de l'Antenne. En effet, cet aménagement du territoire ne permettrait une amélioration de la situation actuelle que lors des périodes où les sols ne sont pas saturés et où les précipitations dépasseraient la capacité d'infiltration (zone des doucins limoneux) et donc n'aurait d'effets que dans le cas d'un nombre très réduit d'événements.

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 et la validation d'un modèle et donc par l'acquisition de données fiables en période de crue.

Bibliographie

Sites internet

<http://www.adès.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 Bordeaux 1

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

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

Principe de fonctionnement du modèle STREAM (INRA d'Orléans).

Les différentes étapes suivies

SOUCHERE V. (1995) pose comme postulat que l'eau provenant du ruissellement est proportionnelle à la quantité d'eau précipitée selon un facteur dépendant exclusivement des états de surfaces des parcelles. On se base sur du ruissellement de type hortonien qui introduit une simplification de la réalité

1. Paramétrage à l'échelle locale : la description des états de surface.

L'état de surface est la description de la surface du sol en vue de caractériser son aptitude au ruissellement (LECHENE S., 2002). La première étape consiste à définir les principaux paramètres influençant le ruissellement et l'infiltration dans le contexte étudié. A partir des expériences et observations (menées principalement dans le Pays de Caux dans un contexte de sols limoneux agricoles), quatre facteurs principaux ont été considérés comme les facteurs les plus importants et englobant le plus de processus : la dégradation de l'état de surface, la rugosité du sol, la couverture du sol et le taux d'humidité initial du sol (CERDAN & al, 2001)

a. Notation du faciès

Le faciès correspond à une notation morphologique traduisant le stade de développement des croûtes de battance (LECHENE S., 2002). Une augmentation de la cohésion du sol est responsable de la baisse de la capacité d'infiltration de ce même sol (SOUCHERE V., 1995). Selon CERDAN O, (2001) il existe d'autres subdivisions possibles correspondant chacune d'elles à une capacité d'infiltration plus précise mais cela contribuerait à un affaiblissement de la robustesse de la méthode.

Tableau 3 : descriptif du faciès

CLASSE DE FACIES	DESCRIPTION
F0	Etat fragmentaire initial : chaque particule de terre visible en surface appartient à un agglomérat plus ou moins important mais parfaitement délimité et séparé de ses voisins.
F11	Faciès fragmentaire altéré : certains fragments sont bien distincts et leur forme est très peu modifiée par rapport à F0, alors que d'autres sont soudés, leurs contours restant reconnaissable.
F12	Faciès continu sans dispersion : les fragments sont intégrés dans des zones d'aspect continu, leurs contours ne sont plus reconnaissables mais il n'y a pas de signe de dispersion.
F2	Faciès continu avec croûte sédimentaire : on distingue alors des signes de départ de terre, et les micros dépressions sont recouvertes d'un manteau très lisse, plus ou moins épais.

SOURCE : INRA

Descriptif du faciès. (Source : LECHENE S., 2002)

b. Notation des rugosités

La notation de la rugosité a pour objectif l'évaluation de la détention superficielle. La rugosité est une propriété dynamique de la surface des sols qui influence l'infiltration, la capacité de stockage temporaire, la réflectance, le dépôt ou le détachement des particules. Elle subit une évolution rapide sous l'influence des agents climatiques et du travail du sol (CERDAN & al., 2001). SOUCHERE V., (1995) signale qu'elle intervient également sur la vitesse et la direction des ruissellements. Elle présente une évolution rapide sous l'influence du travail du sol et de la pluie (CERDAN O., 2001).

Les rugosités parallèles et perpendiculaires au sens du travail du sol sont différenciées. Cinq classes de rugosité sont distinguées par le modèle pour ces deux types de rugosité.

Table 2

Soil surface roughness evaluation: difference in the heights of the deepest part of microdepressions and the lowest point of their divide (from Ludwig et al., 1995)

Grade	Roughness index (cm)	Typical agricultural situation
R0	0-1	Strongly crusted sown fields, harvested fields with intense compacting
R1	1-2	Sown fields with fine loosened or moderately crusted seedbeds
R2	2-5	Recently sown fields with a cloddy surface, crusted tilled fields without residues
R3	5-10	Stubble-ploughed fields and recently sown fields with a very cloddy surface
R4	> 10	Ploughed fields

Evaluation de la rugosité de surface. (Source : CERDAN & al, 2001).

c. Notation du taux de couvert végétal

Comme vu précédemment, la végétation protège les sols de l'érosion de différentes façons. Les limites des classes sont adaptées au taux de développement de la végétation. La classe 1, dans ce cas, correspond au taux de recouvrement d'une céréale semé à l'automne durant les mois d'hiver (CERDAN O, 2001).

Le pourcentage de végétation recouvrant le sol est estimé visuellement et noté en trois classes dans S.T.R.E.A.M. :

Tableau 5 : Taux de couvert végétal

Note	Taux de recouvrement du couvert végétal
1	0 à 20%
2	21 à 60%
3	61 à 100%

SOURCE : INRA

Taux de couvert végétal. (Source : LECHENE S., 2002)

En remarque générale, pour utiliser STREAM au cours d'un cycle hydrologique complet, il faut aussi avoir des éléments pour estimer l'évolution des paramètres d'état de surface du sol au cours du temps ce qui implique plusieurs campagnes de terrain au cours d'une même année en fonction des conditions climatiques et des opérations culturales entreprises par les exploitants agricoles (SOUCHERE V., 1995).

2. Calcul du bilan ruissellement/infiltration et règle de décision.

Beaucoup de modèles, malgré l'utilisation des connaissances les plus pointues en termes de propriétés hydrauliques des sols, restent peu fiables pour la prédiction des volumes ruisselés suite à un événement pluvieux donné. La principale cause est la difficulté de formaliser l'apparition et le développement des croûtes de battance à l'aide des outils mathématiques généralement utilisés dans les modèles de ruissellement.

Dans S.T.R.E.A.M., la modélisation des processus sous forme de système expert propose une alternative. Il ne prend en compte que les caractères prépondérants que l'on combine simplement afin de pouvoir établir une règle de décision facilement adaptable en fonction des caractéristiques du terrain étudié.

Comment sont intégrés tous ces paramètres dans une règle de décision ? Pour cela on procède en trois phases :

a. Les capacités d'infiltration selon les classes définies.

Pour chaque combinaison de ces trois paramètres et en fonction de leur influence respective, on a assigné une classe relative de sensibilité au ruissellement allant de 0 à 4 (la classe 4 étant la plus apte à produire du ruissellement). Ensuite à partir des résultats obtenus lors de nombreux travaux expérimentaux réalisés en Pays de Caux, une capacité d'infiltration associée à chaque classe de sensibilité. Ce sont ces valeurs qui figurent dans le tableau :

Tableau 6

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

Rugosité	Couvert végétal (%)	Classe de Faciès			
		F0	F11	F12	F2
> 15 cm (classe 4)	> 61 (note = 3)	50	50	50	10
	21 – 60 (note = 2)		20	20	
	< 21 (note = 1)		20	20	
5 – 15 cm (classe 3)	> 61 (3)		50	50	5
	21 – 60 (2)		20	20	
	< 21 (1)		20	10	
2 – 5 cm (classe 2)	> 61 (3)	50	20	10	
	21 – 60 (2)	20	10	5	
	< 21 (1)	20	10	5	
1 – 2 cm (classe 1)	> 61 (3)	20	10	5	2
	21 – 60 (2)	50	20	10	5
	< 21 (1)	20	10	5	2
< 1 cm (classe 0)	> 61 (3)	50	20	10	5
	21 – 60 (2)	20	10	5	2
	< 21 (1)	10	5	2	2

SOURCE : INRA

Capacité d'infiltration (mm/h) en fonction des paramètres faciès, rugosité et couvert végétal pour le Pays de Caux. (Source : LECHENE S., 2002)

b. Prise en compte de l'état hydrique initial et définition d'une pluie d'imbibition

Le choix de travailler à l'échelle de l'événement pluvieux implique la nécessité de caractériser l'état hydrique du sol au début de l'événement. Cela détermine la pluie d'imbibition, c'est à dire la hauteur d'eau infiltrée avant d'atteindre le régime d'infiltration stationnaire ou encore, selon Cerdan O., 2001, la hauteur d'eau nécessaire pour initier les processus de flaquage et de ruissellement et qui permet de rendre compte de l'état hydrique initial. En l'absence de mesures directes de ce paramètre, il est possible de l'estimer partir des pluies antécédentes. Afin de calculer la hauteur de pluie d'imbibition, une combinaison entre la hauteur de pluie des 48 h précédant l'événement modélisé et capacité d'infiltration est établie. Ce sont les valeurs qui figurent dans le tableau ci-dessous :

Tableau 7

Hauteurs de pluie d'imbibition (Pi en mm) en fonction de la capacité d'infiltration (inf.) et de la pluie antécédente, pour le Pays de Caux.

		Pluie des 48 heures précédente (mm)			
		0	1 à 15	16 à 40	> 40
Inf. (mm/h)	50	20	15	12	8
	20	15	12	8	5
	10	12	8	5	2
	5	8	5	2	1
	2	5	2	1	0

SOURCE : INRA

Hauteurs de pluie d'imbibition (Pi en mm) en fonction de la capacité d'infiltration et de la pluie antécédente pour le pays de Caux.
(Source : LECHENE S., 2002)

c. Calcul de la hauteur d'eau infiltrée en tout point de la surface modélisée et pour un événement donné

Pour calculer la lame d'eau potentiellement infiltrée en chaque point de la surface modélisée, pour un événement pluvieux donné, il suffit maintenant de multiplier la capacité d'infiltration (inf.) par la durée de l'événement (t). On ajoute ensuite à cette valeur la pluie d'imbibition (Pi). A la hauteur d'eau tombée pendant l'événement (H) on soustrait le résultat précédent.

$$IR = H - (Pi + (Inf. * t))$$

On obtient une valeur bilan Infiltration/Ruissellement qui indique si la parcelle est ruisselante (valeur positive) ou au contraire, si en plus d'infiltrer la hauteur de pluie tombée, elle a la capacité d'infiltrer une partie ou la totalité d'un éventuel ruissellement amont (cas où la valeur bilan est négative).

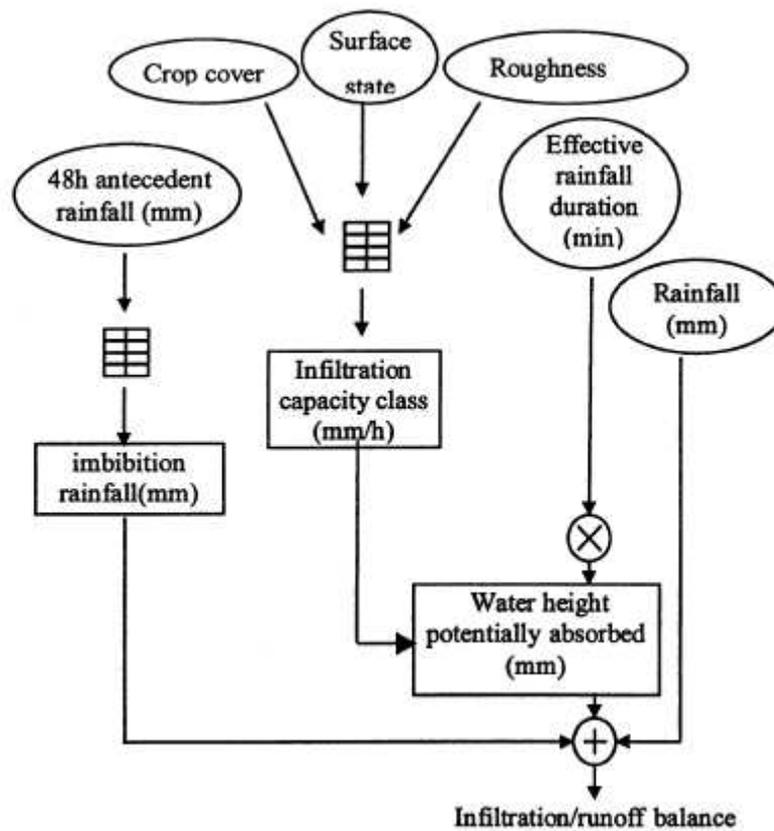


Schéma récapitulatif des étapes exposées.

(Source : LECHENE S., 2002)

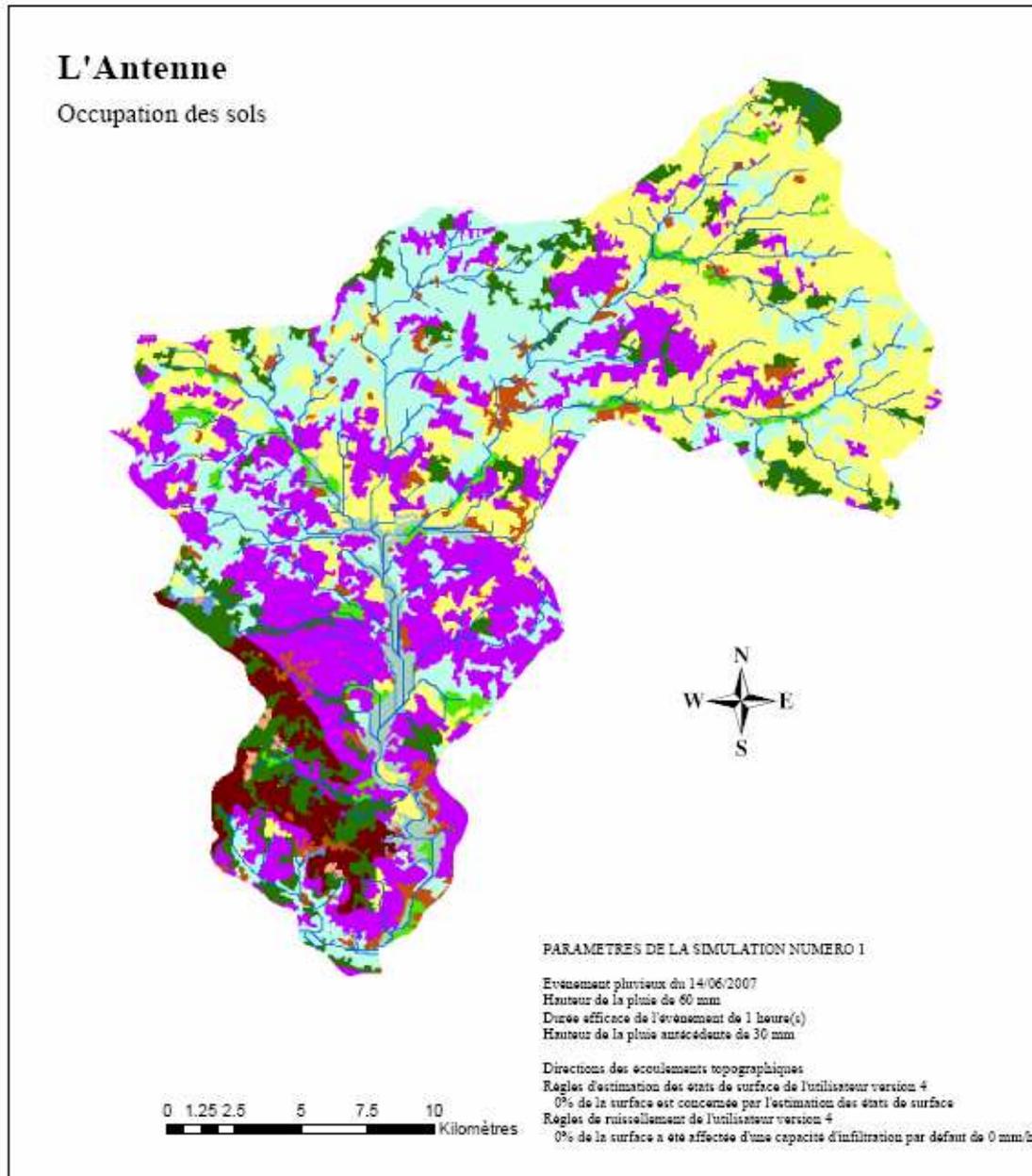
Les sorties du modèle STREAM sont directement observables sous forme de couches du Système d'Informations Géographiques Arcview qui permettent une visualisation d'ensemble rapide et interactive des résultats obtenues sur la zone étudiée.

Annexe 3

Carte des occupations des sols après reclassification à partir des orthophotos 2002 et de Corine Land Cover

S.T.R.E.A.M.

Sealing and Transfer by Runoff and Erosion in relation with Agricultural Management
 Modèle de ruissellement et d'érosion STREAM version 3.1.4 du 09/05/2006
 Copyright © 2005 INRA 1994-2006. Tous droits réservés.



Légende

- | | | | |
|--|---------------------------|--|--------------------------------------|
| | (1) marais | | (6) cultures d'hiver |
| | (2) prairies | | (7) vignes |
| | (3) zone urbaine | | (8) cultures de printemps (douceins) |
| | (4) forêt | | (9) cultures d'hiver (douceins) |
| | (5) cultures de printemps | | (10) vignes (douceins) |
| | | | (11) rivière |

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

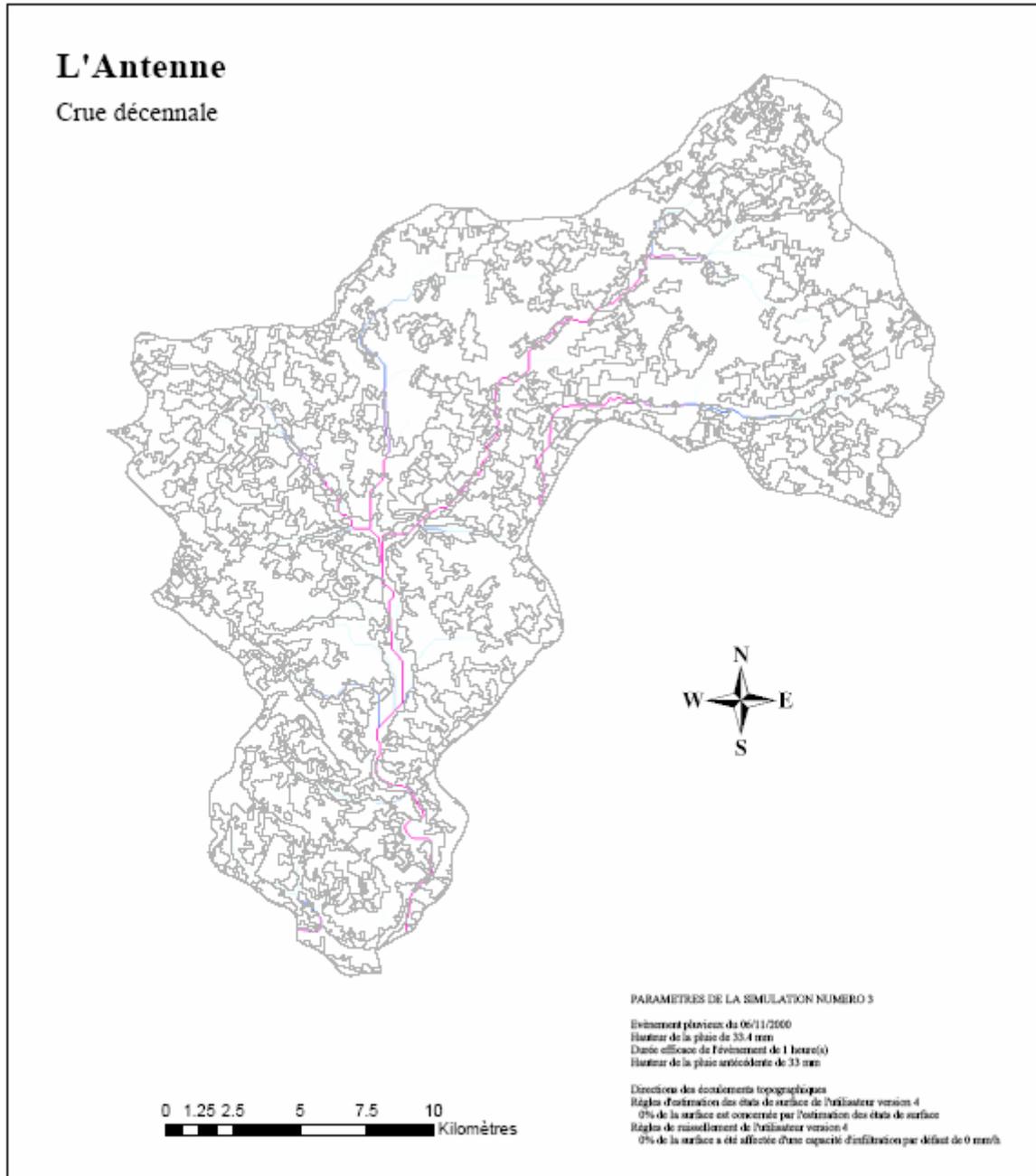


Annexe 4

Carte des ruissellements et infiltration pour des intensités de pluies de 33 mm/h et 50 mm/h

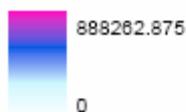
S.T.R.E.A.M.

Sealing and Transfer by Runoff and Erosion in relation with Agricultural Management
 Modèle de ruissellement et d'érosion STREAM version 3.2.4 du 09/03/2006
 Copyright © 2005 INRA 1994-2006. Tous droits réservés.



Légende

Volume d'eau accumulé en m3 (3)



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



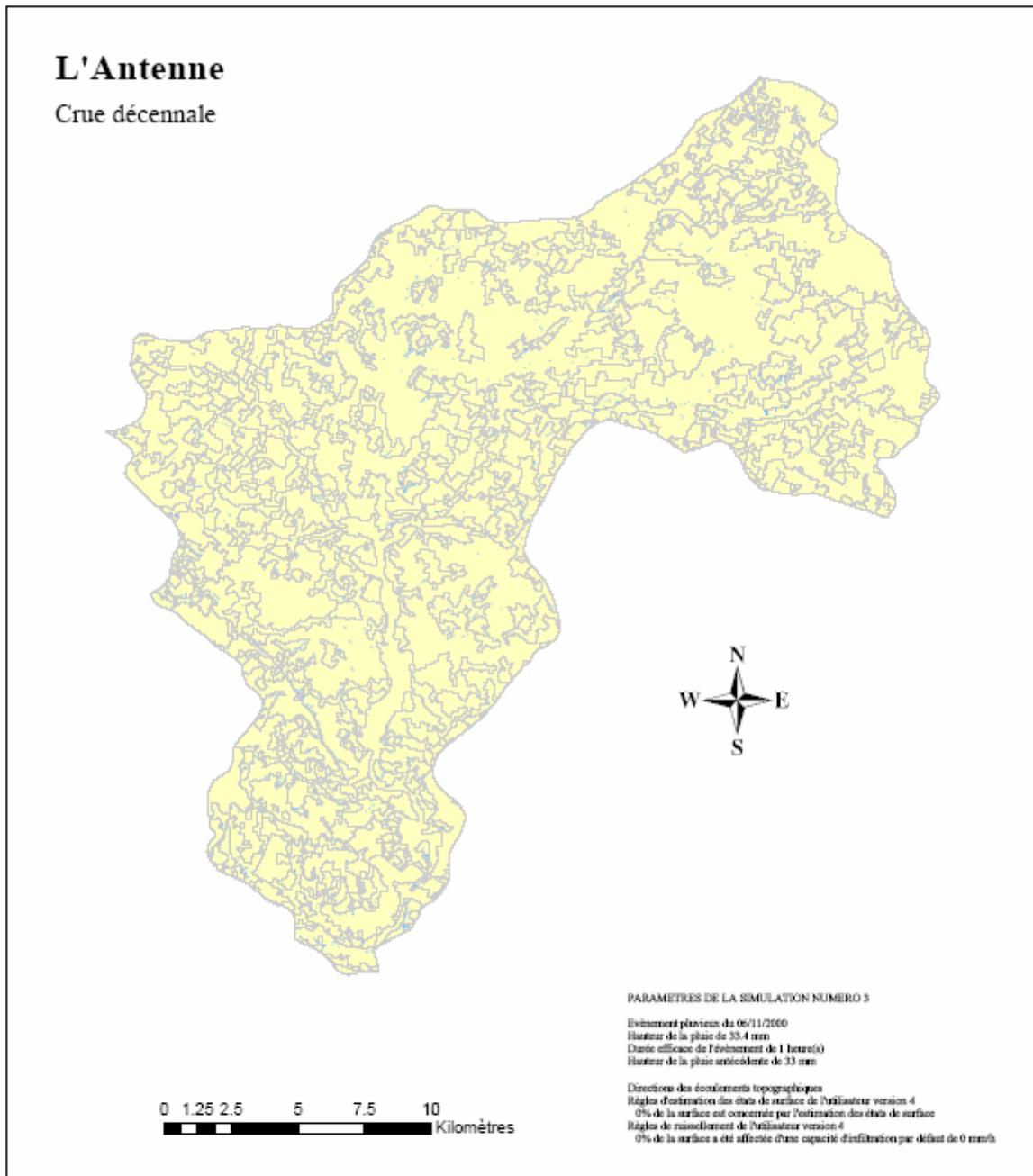
S.T.R.E.A.M.

Sealing and Transfer by Runoff and Erosion in relation with Agricultural Management
 Modèle de ruissellement et d'érosion STREAM version 3.2.4 du 09/05/2006
 Copyright © 2005 INRA 1994-2006. Tous droits réservés.



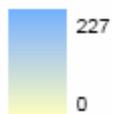
L'Antenne

Crue décennale



Légende

Infiltration réalisée en mm (3)



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

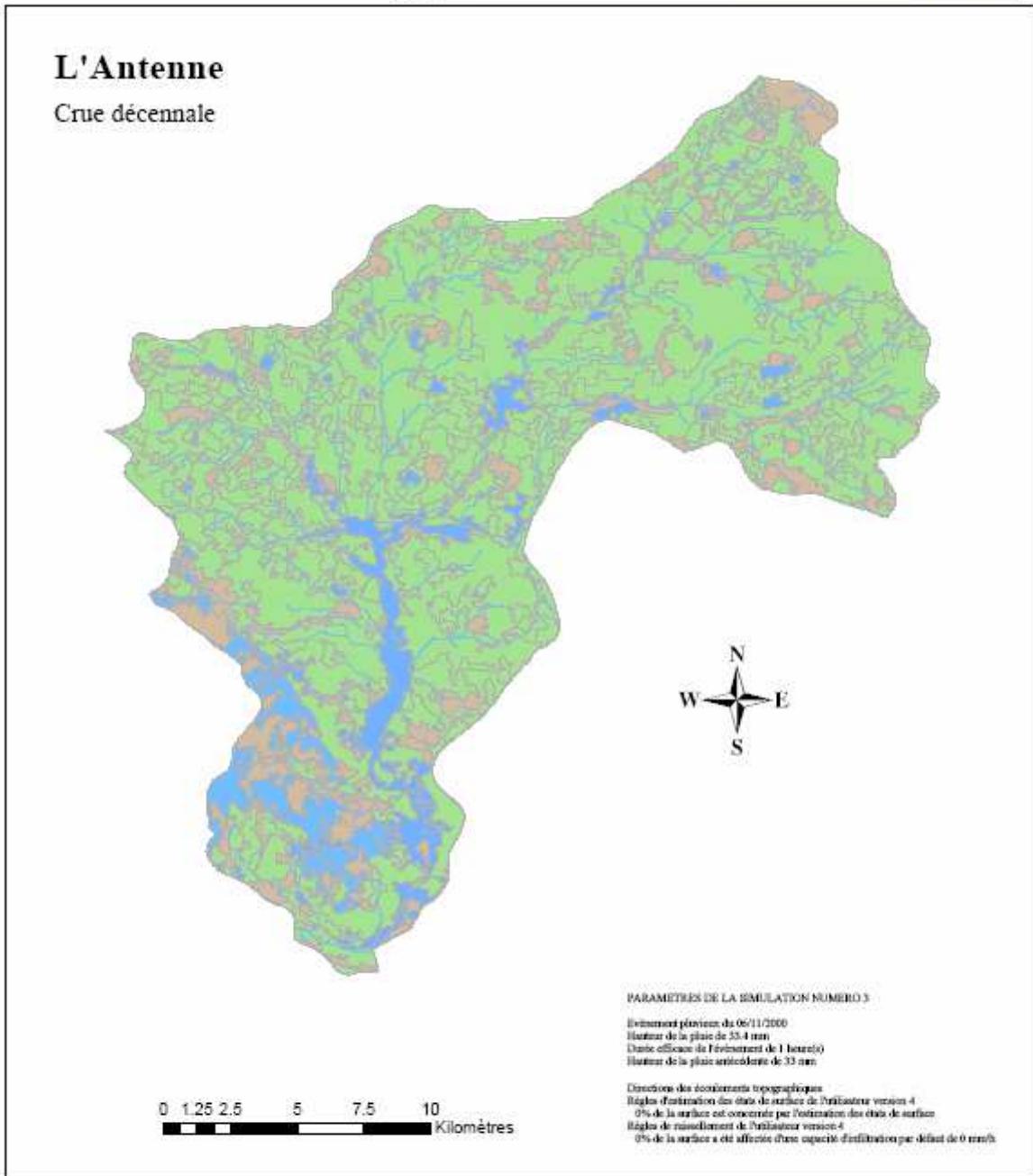


S.T.R.E.A.M.

Sealing and Transfer by Runoff and Erosion in relation with Agricultural Management
 Modèle de ruissellement et d'érosion STREAM version 3.2.4 du 09/03/2006
 Copyright © 2005 INRA 1994-2006. Tous droits réservés.

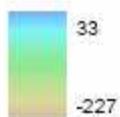


L'Antenne
 Crue décennale



Légende

Bilan Infiltration / Ruissellement en mm (3)

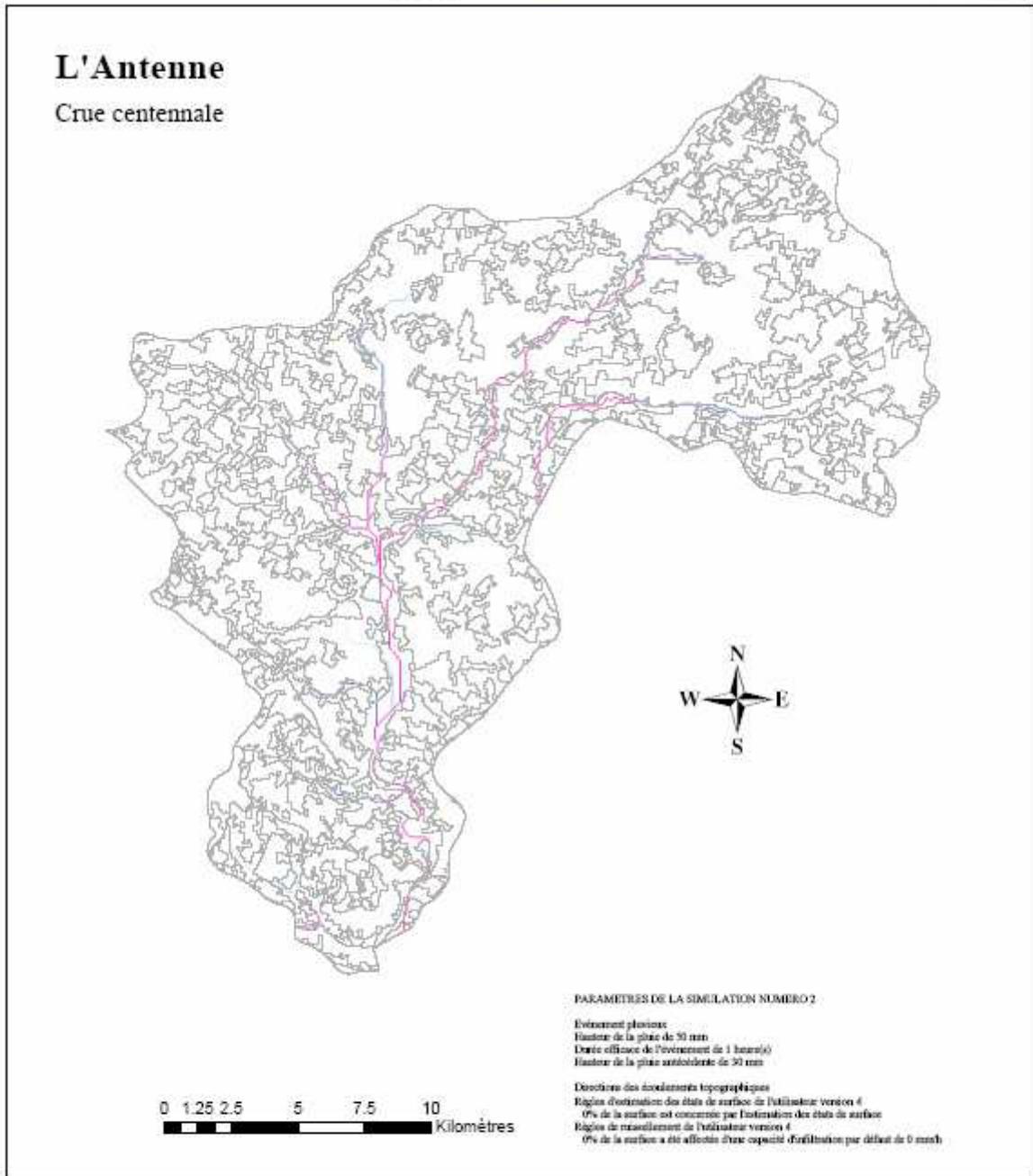


auteur : Eaucea, juin 2007
 sources : BD Carthage, Corin Land Cover 2000, MNT 50m
 Orthophotos IGN 2002, STREAM32



S.T.R.E.A.M.

Sealing and Transfer by Runoff and Erosion in relation with Agricultural Management
 Modèle de ruissellement et d'érosion STREAM version 3.2.4 du 09/05/2006
 Copyright © 2005 INRA 1994-2006. Tous droits réservés.



Légende

Volume d'eau accumulé en m3 (2)

Valeur



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

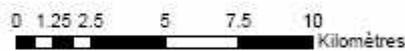
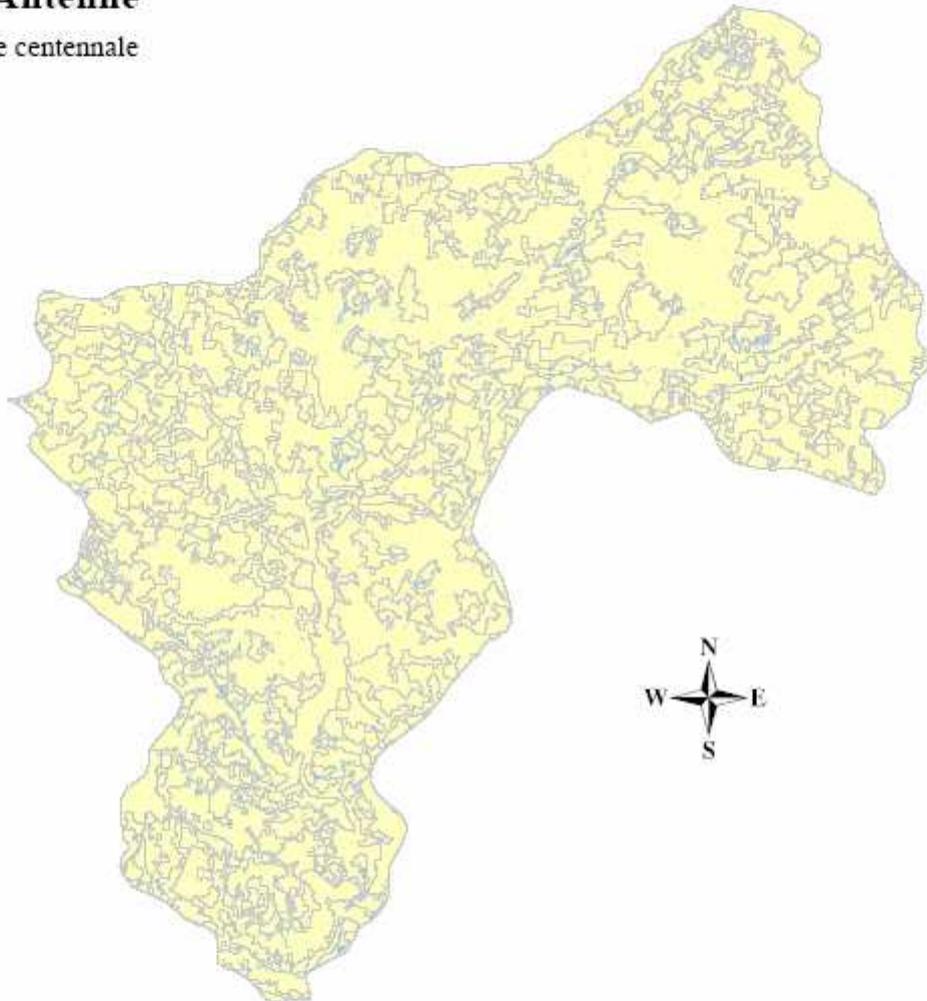


S.T.R.E.A.M.

Sealing and Transfer by Runoff and Erosion in relation with Agricultural Management
 Modèle de ruissellement et d'érosion STREAM version 3.2.4 du 09/03/2006
 Copyright © 2005 INRA 1994-2006. Tous droits réservés.



L'Antenne
 Crue centennale



PARAMETRES DE LA SIMULATION NUMERO 2

Evénement pluvieux
 Hauteur de la pluie de 50 mm
 Durée efficace de l'événement de 1 heure(s)
 Hauteur de la pluie antécédente de 50 mm

Directions des documents topographiques
 Règles d'estimation des états de surface de l'utilisation version 4
 0% de la surface est concernée par l'estimation des états de surface
 Règles de ruissellement de l'utilisation version 4
 0% de la surface a été affectée d'une capacité d'infiltration par défaut de 0 mm/h

Légende

Infiltration réalisée en mm (2)

Valeur



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



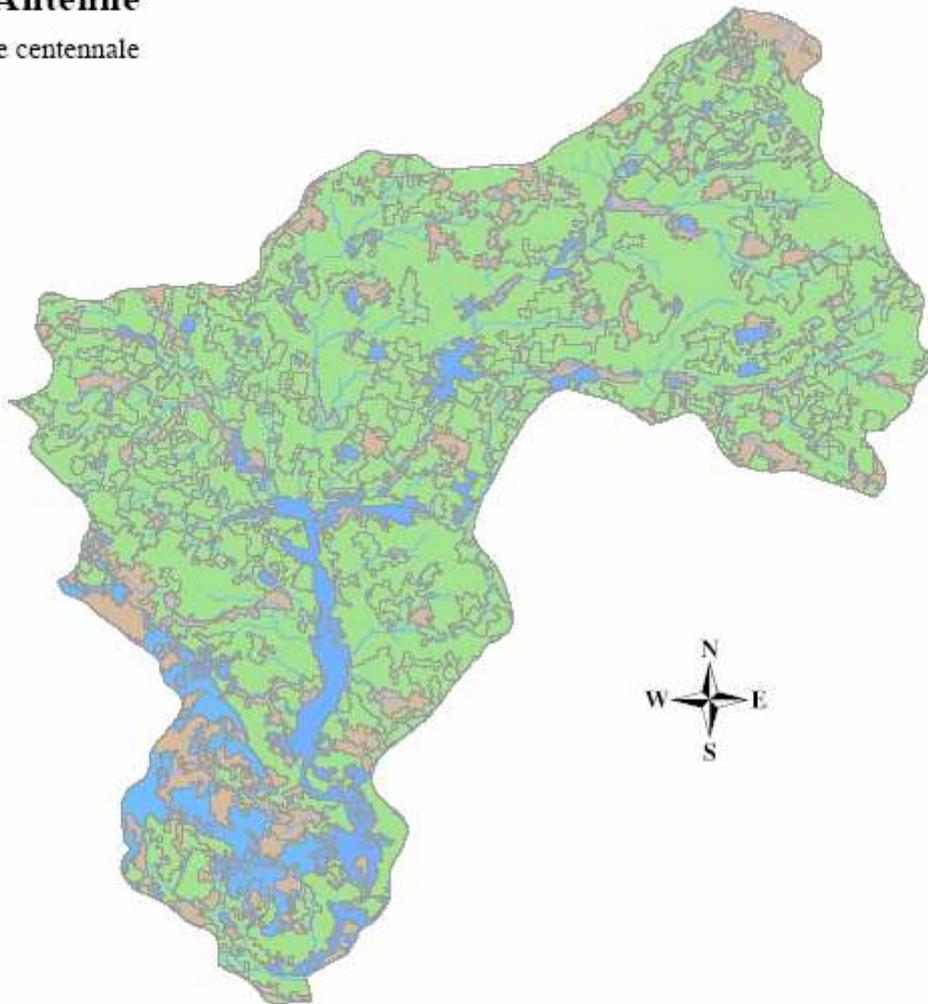
S.T.R.E.A.M.

Sealing and Transfer by Runoff and Erosion in relation with Agricultural Management
 Modèle de ruissellement et d'érosion STREAM version 3.2.4 du 09/03/2006
 Copyright © 2005 INRA 1994-2006. Tous droits réservés.



L'Antenne

Crue centennale



PARAMÈTRES DE LA SIMULATION NUMÉRO 2

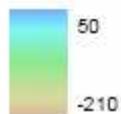
Événement pluvieux
 Hauteur de la pluie de 50 mm
 Durée efficace de l'événement de 1 heure(s)
 Hauteur de la pluie anticyclonique de 50 mm

Directions des écoulements topographiques
 Règles d'estimation des états de surface de l'utilisateur version 4
 0% de la surface est concernée par l'estimation des états de surface
 Règles de ruissellement de l'utilisateur version 4
 0% de la surface a été affectée d'une capacité d'infiltration par défaut de 0 mm/h

Légende

Bilan Infiltration / Ruissellement en mm (2)

Valeur



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

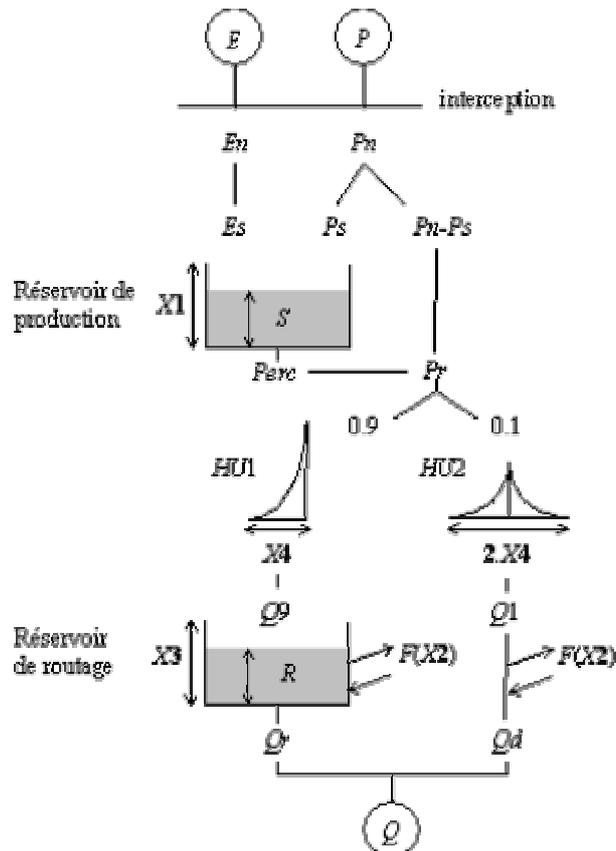


Annexe 5

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 :



X_1 : capacité du réservoir de production (mm)

X_2 : coefficient d'échanges souterrains (mm)

X_3 : capacité à un jour du réservoir de routage (mm)

X_4 : 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 :

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

où $X1$ (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 :

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

Le contenu du réservoir est mis à jour par :

$$S = S - Es + Ps$$

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

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

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 $HU1$ et un réservoir de routage et 10 % par un unique hydrogramme unitaire $HU2$.

$HU1$ et $HU2$ dépendent du même paramètre $X4$, temps de base de $HU1$ 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 $SH1$ et $SH2$.



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 :

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



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

où $l = \text{int}(X4)+1$ et $m = \text{int}(2.X4)+1$, avec $\text{int}(\cdot)$ 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 $Q9$ de l'hydrogramme $HU1$ et F :

$$R = \max(0 ; R + Q9 + F)$$

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 $Q1$ de l'hydrogramme $HU2$ 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., Makhlof, 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.



Table des matières

I	Bilan des études menées sur le bassin versant de l'Antenne.....	1
	Contexte et cadre de l'étude :	1
	I.1.1. Géologie du bassin versant de l'Antenne.....	2
	I.1.2. Synthèse pédologique.....	6
	I.1.3. L'Antenne et ses affluents : caractéristiques	8
	Le ruissellement de surface et l'Erosion sur le bassin versant de l'Antenne.	9
	I.1.4. Synthèse des interviews sur le terrain auprès des agriculteurs.....	9
	I.1.5. Synthèse des informations recueillies auprès du syndicat	10
	I.1.6. Ruissellement et érosion.....	10
	I.1.7. L'occupation des sols par l'agriculture.	13
	I.1.8. Observations de terrain.....	16
	I.1.9. Campagne d'évaluation de la capacité d'infiltration des sols.	17
	I.1.10. Etude du ruissellement à l'aide du modèle STREAM.....	20
	I.1.11. Le rôle des haies dans la régulation des flux d'eau.....	28
	I.1.12. Conclusion sur l'étude du ruissellement de surface sur l'Antenne.	29
II	Etudes sur la modélisation hydrologique du bassin versant.....	30
	Le modèle GR4J.....	30
	Le modèle CycleauPE	32
	Problèmes liés aux données.....	35
	II.1.1. Les précipitations	35
	II.1.2. Les chroniques de débits	36
	Résultats des modélisations.....	38
	II.1.3. GR4J.....	38
	II.1.4. CycleauPE	38
	II.1.5. Comparaison des modélisations issues des deux modèles.	39
III	Etude des systèmes aquifères	41
	Suivi des nappes :	41
	Mise en relation Assecs-niveau piezo.	47
	49
	Mise en relation du remplissage du réservoir P avec les niveaux piézométriques de Ballans et de Juillers.....	50
	La piézométrie, un outil de prévision et de gestion.....	52
	III.1.1. Objectif.....	52
	III.1.2. Méthodologie	52
	Estimation des volumes d'eau stockables dans les nappes.....	56
	III.1.3. Objectif.....	56
	III.1.4. Bilan des volumes sortant	56
	III.1.5. Variation de la piézométrie générale.....	57
	Conclusion.....	59
	Bibliographie.....	60
	Annexe 1	62
	Annexe 2	72
	Annexe 3	77
	Annexe 4	78
	Annexe 5	84

Table des illustrations

<i>Figure 1: Carte géologique du bassin versant de l'Antenne.</i>	4
<i>Figure 2: Morphologie du bassin versant de l'Antenne</i>	5
<i>Figure 3: Carte pédologique.</i>	7
<i>Figure 4: Profil en long de l'Antenne.</i>	8
<i>Figure 5 : Aléa d'érosion des sols selon les saisons.</i>	11
<i>Figure 6 : Sensibilité des sols à la battance.</i>	12
<i>Figure 7 : Sensibilité des sols à la formation de la croûte de battance.</i>	12
<i>Figure 8: Evolution des surfaces cultivées</i>	13
<i>Figure 9: Evolution des surfaces de prairie</i>	14
<i>Figure 10: Carte de l'occupation du sol.</i>	15
<i>Figure 11 : Carte des points de mesures effectués.</i>	18
<i>Figure 12 : Capacité d'infiltration sur groie de Grès.</i>	19
<i>Figure 13 : Capacité d'infiltration sur Doucins limoneux.</i>	19
<i>Figure 14 : Capacité d'infiltration sur groies moyennement profondes</i>	19
<i>Figure 15 : Capacité d'infiltration sur Terres lourdes du Pays Bas.</i>	19
<i>Figure 16: Valeurs statistiques de précipitation</i>	23
<i>Figure 17: Valeurs statistiques de précipitation</i>	23
<i>Figure 18: Modélisation du ruissellement pour une intensité de pluie centennale</i>	24
<i>Figure 19: Modélisation de l'infiltration pour une pluie centennale</i>	25
<i>Figure 20: Carte des zones d'infiltration et de ruissellement</i>	26
<i>Figure 21 : schéma du modèle hydrologique GR4J.</i>	31
<i>Figure 22: Schéma de fonctionnement du modèle CycleauPE</i>	33
<i>Figure 23: Graphique de comparaison des précipitations cumulées.</i>	35
<i>Figure 24: Illustrations des problèmes liés à la mesure et aux données</i>	36
<i>Figure 25: Illustrations des problèmes liés à la mesure</i>	37
<i>Figure 26: Résultats du modèle GR4J'</i>	38
<i>Figure 27: Détail de la contribution des différents réservoirs à l'écoulement</i>	39
<i>Figure 28: Comparaison des résultats des deux modèles pour l'année 1985.</i>	40
<i>Figure 29: Comparaison des résultats des deux modèles pour l'année 1986.</i>	40
<i>Figure 30: Niveau piézométrique à Ballans et Juillers pour l'année 2001.</i>	41
<i>Figure 31: Carte piézométrique</i>	42
<i>Figure 32: Carte des profondeur de nappe</i>	42
<i>Figure 33: Niveau piézométrique à Ballans et Juillers pour l'année 1996.</i>	43
<i>Figure 34: Niveau piézométrique à Ballans et Juillers pour l'année 1998.</i>	44
<i>Figure 35: Ajustement logarithmique des niveaux piézométriques de Ballans</i>	45
<i>Figure 36: Illustration de la baisse des niveaux piézométrique au delà des seuils d'alerte</i>	46
<i>Figure 37 : Relation entre la piézométrie, la pluviométrie et la longueur d'assec en 2005.</i>	47
<i>Figure 38 : Relation entre la piézométrie, la pluviométrie et la longueur d'assec en 2006.</i>	47
<i>Figure 39:présentation des longueur d'assec en fonction de la piézométrie.</i>	48
<i>Figure 40: Carte des cours d'eau asséchés en septembre 2005.</i>	49
<i>Figure 41: Comparaison de la piézométrie et des hauteurs d'eau dans le réservoir P en 1997.</i>	50
<i>Figure 42: Comparaison de la piézométrie et des hauteurs d'eau dans le réservoir P en 2001.</i>	51
<i>Figure 43: Approche du tarissement par la loi de Maillet</i>	53
<i>Figure 44: Exemple de prévisions réalisables à l'aide de la loi de Maillet</i>	54
<i>Figure 45: Prévisions pour l'année 2007</i>	55

Table des illustrations

<i>Tableau 1: Log stratigraphique des formation de l'Antenne</i>	<i>2</i>
<i>Tableau 2: Récapitulatif des différents réservoirs</i>	<i>3</i>
<i>Tableau 3: Pédologie des sols du bassin de l'Antenne.....</i>	<i>6</i>
<i>Tableau 4 : Occupation des sols et caractéristiques de leurs états de surfaces associés en automne.</i>	<i>21</i>
<i>Tableau 5 : Capacité d'infiltration (mm/h) en fonction des paramètres faciès, rugosité et couvert végétal.</i>	<i>22</i>
<i>Tableau 6 : Capacité d'infiltration (mm/h) associés à chacun des indices.....</i>	<i>22</i>
<i>Tableau 7 : Hauteur de pluie d'imbibition en fonction de la capacité d'infiltration et de la pluie précédente (48h).....</i>	<i>22</i>
<i>Tableau 8:présentation des longueur d'assecs en fonction de la piézométrie.</i>	<i>48</i>
<i>Tableau 9: Présentation des volumes en fonction de la hauteur</i>	<i>56</i>