



SYNDICAT DÉPARTEMENTAL  
D'ALIMENTATION EN EAU POTABLE  
D E L A V E N D É E

*Ressources en eaux souterraines en zone  
de socle de la Vendée*

*Aspects quantitatifs*

Etude réalisée dans le cadre des actions de Service public du BRGM 99D422

décembre 1999  
R40830





SYNDICAT DÉPARTEMENTAL  
D'ALIMENTATION EN EAU POTABLE  
D E L A V E N D É E

**ACCES RESERVE**

*Ressources en eaux souterraines en zone  
de socle de la Vendée*

*Aspects quantitatifs*

Etude réalisée dans le cadre des actions de Service public du BRGM 99D422

*Rédigé sous la responsabilité de  
N. Courtois  
avec la participation de  
F. Béchennec*



Mots clés : socle, analyse géologique, analyse statistique, débit instantané, recharge

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

N. Courtois, avec la collaboration de F. Béchennec (1999) - Ressources en eaux souterraines en zone de socle de la Vendée - Aspects quantitatifs.

© BRGM, 1999, ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM

## Résumé

L'eau superficielle assure à l'heure actuelle plus de 90 % de l'alimentation en eau potable de la Vendée. La diversification de la provenance de l'eau s'impose comme un moyen de subvenir à la demande croissante tout en respectant la ressource. Le conseil Général de la Vendée, et le Syndicat d'Alimentation en Eau Potable de la Vendée ont chargé le BRGM d'estimer les potentialités de ressources en eaux souterraines dans les formations de socle qui couvrent la majeure partie du département.

Les mécanismes d'érosion et les mouvements tectoniques ont remanié ces formations anciennes, et créé des réseaux de fissures et de fractures au sein des massifs. Les aquifères qu'elles contiennent sont donc par nature discontinus et compartimentés. Leur productivité est liée à la conjonction de deux paramètres : la présence d'une couverture meuble (issue de l'altération météorique de la roche mère) faisant office de réservoir, et d'un réseau de fissures suffisamment ouvertes et connectées qui permette de drainer les formations meubles sus-jacentes. Ce modèle hydrogéologique conceptuel explique l'hétérogénéité spatiale des productivités des forages implantés en zone de socle. Cette hétérogénéité les dédie à une étude statistique pour faire apparaître des comportements "moyens".

La méthode utilisée pour mettre en évidence les zones à plus fortes potentialités de ressources comporte deux aspects : d'abord une analyse de la lithologie à l'échelle de la carte géologique au 1/250000<sup>ème</sup>, pour définir des regroupements de formations litho-hydrogéologiques homogènes, ensuite une analyse statistique croisée sur le débit instantané des ouvrages recensés dans ces regroupements. Deux paramètres sont calculés, qui sont représentatifs de la productivité : le pourcentage de forages de débit supérieur à 10 m<sup>3</sup>/h, et le débit moyen du quartile supérieur.

Cette méthode d'analyse permet de classer les formations par ordre d'intérêt de ressource potentiellement utilisable. Trois classes de priorité ont ainsi pu être distinguées. Le domaine de la Roche-sur-Yon présente les potentialités les plus intéressantes, avec le massif granitique de la Roche-sur-Yon, les micaschistes et les schistes du groupe de Nieu-le-Dolent. Le massif de granite de Pouzauges est également placé en classe de priorité 1. En priorité 2 viennent principalement les schistes de Saint-Gilles (domaine du Bas-Bocage), et le massif de granite de Mortagne (domaine du Haut-Bocage). La zone de priorité 3 concerne essentiellement les formations de socle du domaine de Chantonnay.

La recharge des nappes est estimée par calage sur 10 points (stations de jaugeage et piézomètres) à l'aide du logiciel GARDENIA. Les lames moyennes infiltrées sur les trois zones définies par l'analyse des débits, sont calculées par extrapolation de ces résultats d'ajustement ponctuels à la surface totale. Les volumes raisonnablement utilisables en terme d'impact et de faisabilité (technique et économique) sont estimés à quelques % de cette recharge. Dans l'hypothèse basse du prélèvement de 1 % de la recharge sur la seule zone de priorité 1, le volume permettrait de doubler la part de l'eau souterraine dans l'alimentation en eau potable du département de la Vendée.

## Sommaire

<b>Résumé.....</b>	<b>1</b>
<b>1. Introduction .....</b>	<b>7</b>
1.1. Contexte : l'alimentation en eau potable de la vendee.....	7
1.2. Place des eaux souterraines .....	7
1.2.1. Formations sédimentaires.....	7
1.2.2. Terrain de socle .....	8
1.2.3. De l'eau potable dans le socle ? .....	10
<b>2. Géologie de la Vendée .....</b>	<b>13</b>
2.1. Cadre géologique du département de vendée.....	13
2.2. Le socle de Vendée.....	18
2.2.1. Le Domaine de la Roche-sur-Yon.....	18
2.2.2. Le domaine du Bas-Bocage.....	21
2.2.3. Le domaine des Essarts.....	24
2.2.4. Le domaine de Chantonnay .....	26
2.2.5. Le domaine de Saint-Nazaire .....	29
2.2.6. Le Domaine du Haut-Bocage .....	30
2.3. La couverture sédimentaire post-paléozoïque de Vendée .....	33
2.3.1. Les formations jurassiques de Chantonnay .....	33
2.3.2. Les formations d'âge crétacé et tertiaire de la Vendée littorale .....	34
2.4. Structure et métamorphisme varisque .....	35
2.5. Structures post-varisques.....	37
<b>3. Principe de la méthode de sélection des zones à plus fortes probabilités de ressource.....</b>	<b>39</b>
3.1. Choix de la méthode et des données.....	39
3.1.1. Origine de la méthode statistique .....	39
3.1.2. Données de base : débit instantané.....	39
3.2. Principe de sélection des zones .....	41
3.2.1 Analyse de la géologie.....	41
3.2.2. Analyse statistique croisée sur les débits instantanés.....	41
3.2.3. Définition des classes d'intérêt .....	42
3.3. Intérêts et limites de la méthode.....	43
3.3.1. Aspect probabiliste .....	43
3.3.2. Données de débit instantané .....	44
3.3.3. Précision de l'analyse géologique.....	45
3.4. Base de données sur les forages de Vendée .....	46
3.4.1. Inventaire des forages.....	46
3.4.2. Constitution de la base de données.....	47

<b>4. Résultats généraux et première classification par grands types de formations</b>	<b>55</b>
4.1. Statistiques générales sur le socle.....	55
4.1.1. Distribution statistique des débits.....	55
4.1.2. Profondeurs moyennes des forages .....	56
4.2. Première classification par grands types de formation.....	57
4.2.1. Choix des différents regroupements .....	57
4.2.2. Distribution statistique des débits.....	59
4.2.3. Analyse statistique croisée sur les débits instantanés.....	62
4.2.4. Profondeurs moyennes des forages .....	64
4.2.5. Débits linéaires moyens.....	65
4.2.6. Répartition spatiale des débits par grands types de formation .....	66
<b>5. Deuxième classification : par lithologies et unités</b>	<b>73</b>
5.1. Analyse statistique croisée sur les sous-unités .....	73
5.1.1. Critères de découpage.....	73
5.1.2. Résultats du découpage pour les méta-sédiments.....	73
5.1.3. Résultats du découpage pour les granites et assimilés .....	77
5.1.4. Résultats du découpage pour les amphibolites .....	80
5.1.5. Résultats du découpage pour le socle sédimentaire de Chantonnay .....	82
5.2. Synthèse des résultats .....	84
5.2.1. Analyse statistique croisée sur les débits.....	84
5.2.2. Définition des classes d'intérêt .....	84
<b>6. Estimation de la recharge</b>	<b>89</b>
6.1. Estimation quantitative de la ressource mobilisable .....	89
6.1.1. De la pluie aux réserves souterraines .....	89
6.1.2. Quelques ordres de grandeur .....	90
6.1.3. Part de la ressource mobilisable .....	90
6.2. Principe de modélisation de la recharge .....	91
6.2.1. Principe de fonctionnement du logiciel GARDENIA .....	91
6.2.2. Analyse critique des résultats de modélisation.....	92
6.3. modélisation de la recharge .....	94
6.3.1. Objectifs recherchés .....	94
6.3.2. Choix des points .....	94
6.3.3. Données climatologiques.....	98
6.3.4. Résultats de la modélisation .....	101
6.4. Estimation des volumes raisonnablement utilisables .....	106
6.4.1. De l'estimation de la recharge à celle des volumes exploitables : enjeux et difficultés .....	106
6.4.2. Quelques ordres de grandeur de volumes.....	107
<b>Conclusions</b>	<b>113</b>
<b>Bibliographie</b> .....	<b>115</b>
<b>A n n e x e s</b> .....	<b>116</b>

## Liste des figures

Figure 1.1. : Modèle conceptuel des altérations en milieu granitique (d'après Wyns R. (1999)).....	9
Figure 2.1. : Domaines litho-structuraux, et failles majeures et relatives de Vendée ....	14
Figure 2.2. : Basins, massifs et unités de Vendée .....	15
Figure 2.3. : Lithologies de Vendée (d'après la carte géologique au 1/250000 <sup>ème</sup> des Pays-de-la-Loire).....	16
Figure 2.4. : Domaine de la Roche-sur-Yon.....	18
Figure 2.5. : Domaine du Bas-Bocage.....	22
Figure 2.6. : Domaine des Essarts .....	25
Figure 2.7. : Domaine de Chantonay .....	27
Figure 2.8. : Domaine de Saint-Nazaire .....	30
Figure 2.9. : Domaine du Haut-Bocage.....	31
Figure 2.10. : Couverture jurassique de la Vendée.....	34
Figure 2.11. : Couverture tertiaire de la Vendée .....	35
Figure 3.1. : Principe du marteau-fond-de-trou .....	40
Figure 3.2. : Propriétés statistiques des formations regroupées par classes d'intérêt .....	43
Figure 3.3. : Affleurements et massifs sous-jacents .....	46
Figure 3.4. : Localisation des points ayant fait l'objet d'une visite de terrain.....	49
Figure 3.5. : Localisation des points renseignés en débit .....	50
Figure 3.6. : Points renseignés en débit, et situés dans la couverture tertiaire .....	51
Figure 3.7. : Points renseignés en débit, et situés dans la couverture jurassique .....	52
Figure 3.8. : Points renseignés en débits, et situés dans le socle .....	53
Figure 4.1. : Répartition des forages par classes de débits .....	55
Figure 4.2. : Profondeurs moyennes des forages par classes de débit.....	57
Figure 4.3. : Répartition des forages par classes de débits pour les différentes formations.....	62
Figure 4.4. : Résultats de l'analyse statistique croisée sur les débits instantanés par grands types de formations.....	63
Figure 4.5. : Profondeurs moyennes des forages par grands types de formation.....	64
Figure 4.6. : Catégorie des granites et assimilés .....	67
Figure 4.7. : Catégorie des métasédiments.....	68
Figure 4.8. : Catégorie des Porphyroïdes de Vendée .....	69
Figure 4.9. : Catégorie des amphibolites .....	70
Figure 4.10. : Catégorie du socle sédimentaire de Chantonay .....	71
Figure 4.11. : Catégorie des roches volcaniques .....	72
Figure 5.1. : Sous-unités considérées dans les méta-sédiments .....	76
Figure 5.2. : : Sous-unités considérées dans les granites et assimilés .....	79
Figure 5.3. : Sous-unités considérées dans les amphibolites.....	81
Figure 5.4. : Sous-unités considérées dans le socle sédimentaire de Chantonay .....	83
Figure 5.5. : Caractéristiques statistiques des classes d'intérêt.....	86
Figure 5.6. : Carte de synthèse des zones à plus fortes potentialités de ressources .....	87
Figure 6.1. : Répartition de la pluie efficace en ruissellement et infiltration .....	89
Figure 6.2. : Schéma de principe du modèle global à réservoirs GARDENIA.....	91
Figure 6.3. : Localisation des stations de jaugeage, piézomètres, et stations météo .....	96

Figure 6.4. : Stations de jaugeage et réseaux hydrographiques concernés (avec tracé des bassins versants).....	97
Figure 6.5. : Pluies moyennes annuelles sur la période 1990-1998 .....	100
Figure 6.6. : Lames d'eau moyennes annuelles infiltrées (correspondant pour chaque station à la moyenne calculée sur la période de calage).....	103
Figure 6.7. : Répartition des pourcentages de pluies efficaces infiltrées (calculés pour chaque station en moyenne annuelle sur la période de calage).....	104

## Liste des tableaux

Tableau 3.1. : Inventaire des forages en fonction de la source d'information .....	47
Tableau 3.2. : Bilan de la collecte des données pour l'analyse statistique.....	48
Tableau 4.1. : Statistiques générales sur les débits des 1126 forages du socle .....	55
Tableau 4.2. : Analyse statistique croisée sur les forages du socle .....	56
Tableau 4.3. : Profondeurs moyennes calculées sur les 1126 forages situés dans le socle .....	56
Tableau 4.4. : Différents regroupements avec les lithologies concernées.....	58
Tableau 4.5. : Statistiques générales sur les débits par formation.....	59
Tableau 4.6. : Analyse statistique croisée sur les débits instantanés par grands types de formations.....	62
Tableau 4.7. : Statistiques sur les profondeurs par grands types de formations.....	64
Tableau 4.8. : Débits linéaires moyens par grands types de formations .....	65
Tableau 5.1. : Sous-unités définies dans la formation des méta-sédiments .....	74
Tableau 5.2. : Résultats de l'analyse statistique croisée sur les méta-sédiments.....	74
Tableau 5.3. : Sous-unités définies dans la formation des granites et assimilés .....	77
Tableau 5.4. : Résultats de l'analyse statistique croisée sur les granites et assimilés.....	77
Tableau 5.5. : Sous-unités définies dans la formation des amphibolites.....	80
Tableau 5.6. : Résultats de l'analyse statistique croisée sur les amphibolites .....	80
Tableau 5.7. : Sous-unités définies dans la formation du socle sédimentaire de Chantonnay .....	82
Tableau 5.8. : Résultats de l'analyse statistique croisée sur les débits dans le socle sédimentaire de Chantonnay .....	82
Tableau 5.9. : Caractéristiques statistiques des formations classées par ordre d'intérêt. 85	
Tableau 6.1. : Caractéristiques des stations de jaugeage et des piézomètres choisis pour le calage de la recharge .....	95
Tableau 6.2. : Comparaison des pluies totales moyennes annuelles calculées sur la période de référence 1990-1998, et sur les périodes d'ajustement. 99	
Tableau 6.3. : Bilans moyens annuels obtenus sur la période de calage, pour l'ajustement retenu .....	102
Tableau 6.4. : Bilans moyens annuels calculés pour les années de pluviométrie minimale et maximale sur la période de calage (pour l'ajustement retenu). .....	105

Tableau 6.5. : Estimation des volumes "disponibles" calculés en année "moyenne" (correspondant à l'année moyenne calculée sur la période de calage)...	108
Tableau 6.6. : Estimation des volumes "disponibles" calculés en année "sèche" (correspondant à l'année de pluviométrie minimale sur la période de calage).....	109
Tableau 6.7. : Estimation des volumes "disponibles" calculés en année "humide" (correspondant à l'année de pluviométrie maximale sur la période de calage).....	110

# 1. Introduction

## 1.1. CONTEXTE : L'ALIMENTATION EN EAU POTABLE DE LA VENDEE

L'alimentation en eau potable du département de la Vendée est actuellement assurée pour plus de 90 % par les eaux superficielles fournies par des barrages. Pour les points de production gérés par le Syndicat Départemental d'Alimentation en Eau Potable de la Vendée (SDAEP), la répartition de l'origine des eaux entre barrages et captages en 1998 est donnée dans le tableau 1.1..

Volume issu des barrages (m <sup>3</sup> )	37 044 834
Volume issu des captages (m <sup>3</sup> )	1 768 576
Volume total produit (m <sup>3</sup> )	38 813 410

*Tableau 1.1. : Provenance de l'eau potable distribuée par le SDAEP en 1998*

La contribution de l'eau souterraine à l'alimentation en eau potable reste donc faible, inférieure à 5 % pour le SDAEP. De plus, les captages sont essentiellement implantés dans les aquifères des formations sédimentaires de grande extension (qui correspondent aux formations post-orogéniques de la figure 2.1.).

- nappes des calcaires jurassiques du sud du département (captage de Sainte-Germaine, captage du Gros Noyer, dans la plaine de Fontenay-Luçon)
- nappes des calcaires tertiaires du marais breton (captage de la Vérie)
- nappes des calcaires jurassiques du bassin de Chantonnay (captage de Thouarsais)

La consommation en eau potable ne cesse d'augmenter au fil des années. La diversification de la provenance de l'eau, alliée à une politique de gestion envisagée sur le long terme (limitation des pertes dans les réseaux de distribution, limitation des sources de pollutions,...), est une solution à envisager pour subvenir à la demande croissante sans épuiser la ressource.

## 1.2. PLACE DES EAUX SOUTERRAINES

### 1.2.1. Formations sédimentaires

Les formations sédimentaires, déposées en couches, contiennent souvent des aquifères "classiques" : les interstices de la roche assurent à la fois le stockage et l'écoulement de l'eau. Ces aquifères, libres ou captifs, sont en général continus, et peuvent présenter des caractéristiques hydrodynamiques (à la fois capacitatives et transmissives) qui les rendent intéressants pour l'exploitation en eau : débits de pompage supérieurs à 200 m<sup>3</sup>/h, rabattements limités, zones de recharge étendues,...

Ce type d'aquifère est largement exploité pour l'irrigation et l'alimentation en eau potable, et par là bien connu : les nombreuses coupes géologiques fournies par les

forages, ainsi que les essais de pompage réalisés, renseignent sur la géométrie et les caractéristiques hydrodynamiques des réservoirs aquifères.

### **1.2.2. Terrain de socle**

Dans les formations dites de socle, telles que les granites (roches plutoniques) et les schistes (argiles métamorphisées), qui couvrent la plus grande partie du département de la Vendée, les roches sont massives et imperméables. Ces massifs anciens ont pu subir des modifications physiques postérieurement à leur formation. La présence éventuelle d'eau souterraine dépend de l'intensité de ces modifications, en particulier de la fracturation et de l'altération.

#### **a) *Modèle conceptuel des altérations en contexte de socle***

La fracturation d'origine tectonique favorise la circulation des eaux lorsque les fractures sont ouvertes et suffisamment connectées.

L'altération météorique a pour effet de développer une couverture meuble dont la porosité dépend de la minéralogie de la roche mère (la roche en place se désagrège sous l'action des conditions climatiques : température, pluviométrie,..). Sous cette couverture meuble, l'altération météorique développe une fissuration qui permet le drainage des formations meubles. L'ouverture des fractures d'origine tectonique peut aussi être accentuée par ce processus d'altération chimique qui se poursuit à grande profondeur (au-delà de 100 mètres) avec l'infiltration de l'eau de pluie dans les fissures.

Le modèle conceptuel des propriétés des altérites en zone de socle a été amélioré ces dernières années, dans le cadre de projets de recherche du BRGM. Il est présenté sur la figure 1.1. (figure extraite de Wyns R., (1999)).

Un profil d'altération type comprend, de haut en bas, les éléments suivants :

- Cuirasse latéritique (0 à quelques mètres) : cette couche est rarement préservée
- Allotérites (quelques mètres à 10 mètres) : cette altérite est caractérisée par une réduction de volume par rapport à la roche mère. Dans les formations de type schistes, c'est une argile imperméable, et dans les granites, c'est une arène argileuse de faible perméabilité et de faible teneur en eau mobile.
- Isaltérites (plusieurs dizaines de mètres) : dans cette altérite, la texture de la roche initiale est préservée : les éléments chimiques dissous ont été remplacés par des vides. La porosité de cet horizon est donc importante, et lui permet de jouer le rôle de réservoir pour les eaux d'infiltration. Dans les massifs schisteux, cet horizon est à dominante silto-argileuse : la perméabilité reste donc faible même si la porosité est importante. En contexte granitique, cet horizon est plus sableux et donc plus perméable.

- Zone fissurée (40 à 50 mètres) : cet horizon est caractérisé par une forte fissuration, dont l'intensité décroît avec la profondeur. Elle résulte de l'éclatement de la roche sous l'effet des contraintes générées par les changements de phase minéralogique. L'espacement entre fissures, et par là leur probabilité d'interconnexion, diminuent avec la profondeur. La partie supérieure de cet horizon fissuré constitue un aquifère de bonne perméabilité, alimenté par le réservoir altéritique.

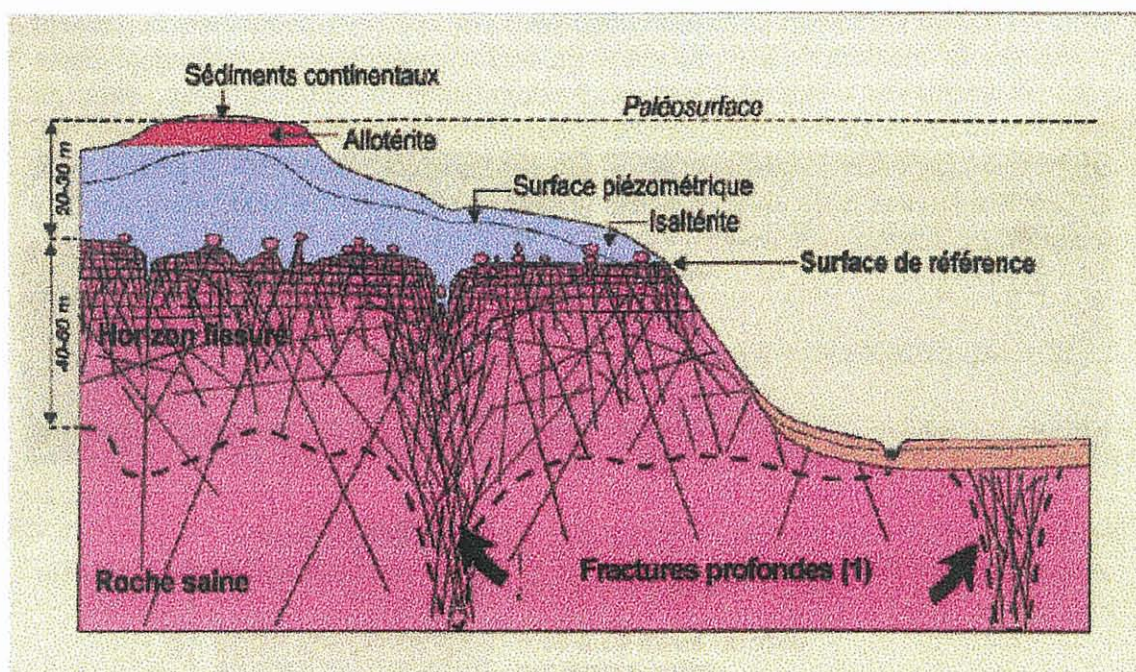


Figure 1.1. : Modèle conceptuel des altérations en milieu granitique (d'après Wyns R. (1999))

### b) Productivité des forages en contexte de socle altéré

La genèse des aquifères des formations de socle passe par les phénomènes de fracturation et d'altération, ce qui explique leur caractère le plus souvent discontinu, et compartimenté. La productivité des forages en zone de socle peut être très variable suivant la présence et le recoupement des différents horizons altérés décrits ci-dessus.

- Les forages peu profonds implantés uniquement dans les arènes donnent en général des débits qui restent faibles (inférieurs à  $5 \text{ m}^3/\text{h}$ ). La présence d'argile mêlée aux grains de la roche mère est un obstacle à l'écoulement.
- Les débits compris entre  $5$  à  $10 \text{ m}^3/\text{h}$  sont les plus fréquemment rencontrés dans le socle. Ils sont caractéristiques des forages qui recoupent l'horizon fissuré. Les débits

supérieurs à 10 m<sup>3</sup>/h sont significatifs du recoupement d'une fracture drainante reliée à un réservoir altéritique.

- Enfin, les débits particulièrement importants (qui peuvent être supérieurs à 100 m<sup>3</sup>/h) qui se rencontrent sur certains forages, souvent de grande profondeur, sont le plus souvent significatifs du recoupement de fractures d'origine tectonique, et d'ampleur régionale.

Les caractéristiques chimiques et hydrodynamiques des horizons altéritiques dépendent pour beaucoup de la nature de la roche mère. En contexte granitique se mélangent argile et grains de quartz, en contexte schisteux, la dominante est silto-argileuse, donc de perméabilité et de teneur en eau mobile globalement plus faibles. Cependant, les schistes peuvent présenter localement des productivités importantes (débits supérieurs à 100 m<sup>3</sup>/h) dans les zones de changement de faciès, tels que des niveaux de quartzites interstratifiés, ou des filons de quartz.

### **1.2.3. De l'eau potable dans le socle ?**

Nous avons vu que la productivité des forages implantés en zone de socle est liée globalement à la conjonction de deux paramètres :

- présence d'un réservoir capacitif dans les zones superficielles altérées,
- présence d'un système de fractures ouvertes et connectées qui permettent de drainer ce réservoir.

Cette caractéristique explique l'hétérogénéité spatiale de la productivité des forages implantés dans les zones de socle. Des forages proches pourront avoir des débits très différents, s'ils ne recoupent pas le même système de fractures.

Si les aquifères des formations de socle sont à priori moins productifs en moyenne que ceux des formations sédimentaires, leur exploitation peut cependant être mise en œuvre pour concourir à l'alimentation en eau potable du département :

- alimentation en eau potable pour les petites communes rurales à partir d'un forage unique suffisamment productif
- association de forages en champs captants pour assurer des volumes plus importants

Cette étude, réalisée sur deux années avec le concours du Conseil Général de la Vendée et du Syndicat Départemental d'Alimentation en Eau Potable de la Vendée, propose d'améliorer les connaissances sur les aquifères discontinus des formations de socle.

Au socle proprement dit s'ajoutent des formations de type sédimentaire qui le recouvrent en lambeaux au nord-ouest du département : bassins de remplissage tertiaire

de Challans, de Machecoul et de Saint-Gervais. Ces bassins calcaires peuvent contenir des aquifères continus, mais de faible extension ; qui peuvent concourir aussi, à leur mesure, à la diversification de la ressource en eau dans le département. Une étude sera aussi menée sur le bassin sédimentaire de Chantonnay.

L'étude porte sur les deux aspects complémentaires quantitatif et qualitatif de la ressource potentielle en eau souterraine :

**a) Etude sur le plan quantitatif**

Basée sur l'analyse géologique et lithologique des formations, suivie d'une analyse statistique des débits instantanés des forages en place (forages d'irrigation et forages de particuliers), l'étude permet de mettre en évidence les zones à plus fortes probabilités de ressources en eaux souterraines.

En complément, elle propose une estimation de la recharge de ces zones par les pluies efficaces, pour permettre d'évaluer les volumes raisonnablement exploitables sans épuiser la ressource.

**b) Etude sur le plan qualitatif**

L'étude propose un état des lieux de la qualité globale des eaux souterraines de socle, ainsi que l'approfondissement de certains points particuliers, comme la présence d'éléments indésirables d'origine anthropique (nitrates, phytosanitaires,...), la dénitrification naturelle,...

Cette partie de l'étude est en cours, et fera l'objet du second rapport dédié à l'aspect qualitatif, dont la publication est prévue pour la fin d'année 2000.

## 2. Géologie de la Vendée

### 2.1. CADRE GEOLOGIQUE DU DEPARTEMENT DE VENDEE

Le Massif armoricain est l'un des deux principaux massifs cristallins de France. Il est principalement constitué de terrains cristallins et métamorphiques d'âge protérozoïque et paléozoïque (670 à 280 Ma). Ces terrains ont été affectés par deux événements orogéniques successifs : l'orogénèse cadomienne (580- 540 Ma) et l'orogénèse varisque ou hercynienne (360- 310 Ma). Suite à cette longue évolution, le Massif armoricain est organisé en deux blocs structuraux majeurs, les blocs nord-armoricain et sud-armoricain, séparés par une discontinuité tectonique fondamentale, le cisaillement sud-armoricain. Depuis cette époque il est demeuré à l'écart des grandes zones de tectonique active, telle que la collision alpine ou l'ouverture de l'Atlantique, dont il n'a subi que des incidences mineures; de ce fait, sur ses marges, s'est déposée une couverture sédimentaire d'âge secondaire et tertiaire, en liaison avec le développement des grands bassins, à l'est le bassin de Paris et au sud-est le bassin d'Aquitaine.

Le département de Vendée appartient essentiellement au bloc sud-armoricain et seule sa frange nord-orientale appartient au bloc nord-armoricain. Il est principalement constitué de séries métamorphiques et magmatiques d'âge protérozoïque et paléozoïque, dont la structuration complexe est associée à l'orogénèse varisque; cette dernière s'est développée au cours du Dévonien moyen/Carbonifère (370-300 Ma), en un processus de subduction/collision qui aboutit à l'accordance tectonique de différents domaines litho-structuraux (figure 2.1.) :

- le domaine de la Roche-sur-Yon
- le domaine du Bas-Bocage
- le domaine des Essarts
- le domaine du bassin de Chantonnais
- le domaine de Saint Nazaire
- le domaine du Haut-Bocage

Par la suite, dès le Jurassique inférieur (200-175 Ma), se déposent en discordance sur ce socle, les formations sédimentaires associées aux grandes transgressions marines du bassin d'Aquitaine, lesquelles se poursuivent jusqu'au Jurassique supérieur (140 Ma). Après une longue période de non-dépôt (émersion ?), les transgressions marines reprennent au Crétacé supérieur (96-65 Ma) mais les dépôts sont limités à la Vendée littorale. Le Tertiaire inférieur est une période d'émersion et d'intense érosion. Les premiers sédiments marins apparaissent uniquement à l'Eocène moyen (35Ma) et sont restreints à la Vendée littorale où ils ont été souvent conservés dans des demi-grabbens. Enfin par la suite, les dépôts tertiaires supérieurs (5-2 Ma) consistent principalement en des épandages continentaux peu épais.

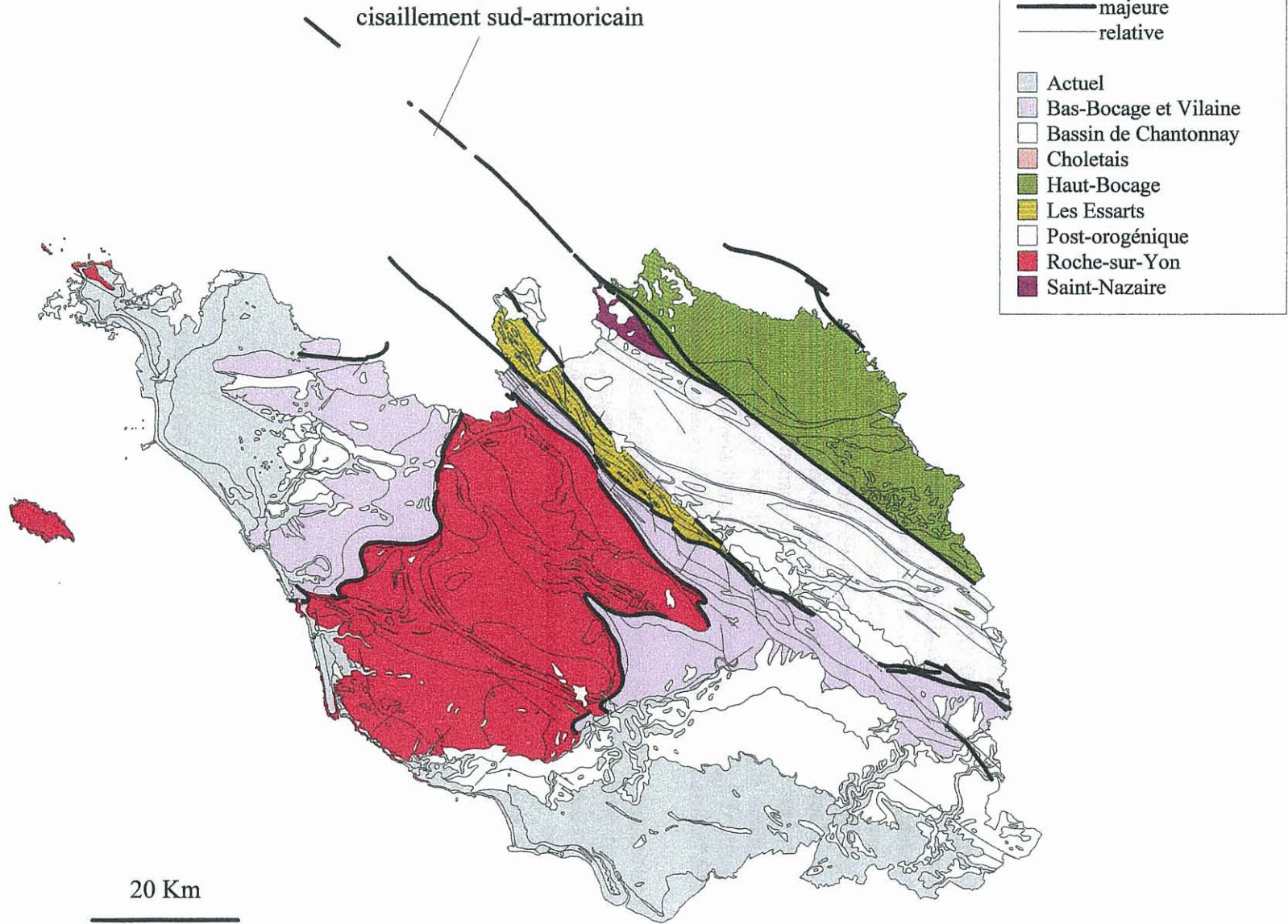
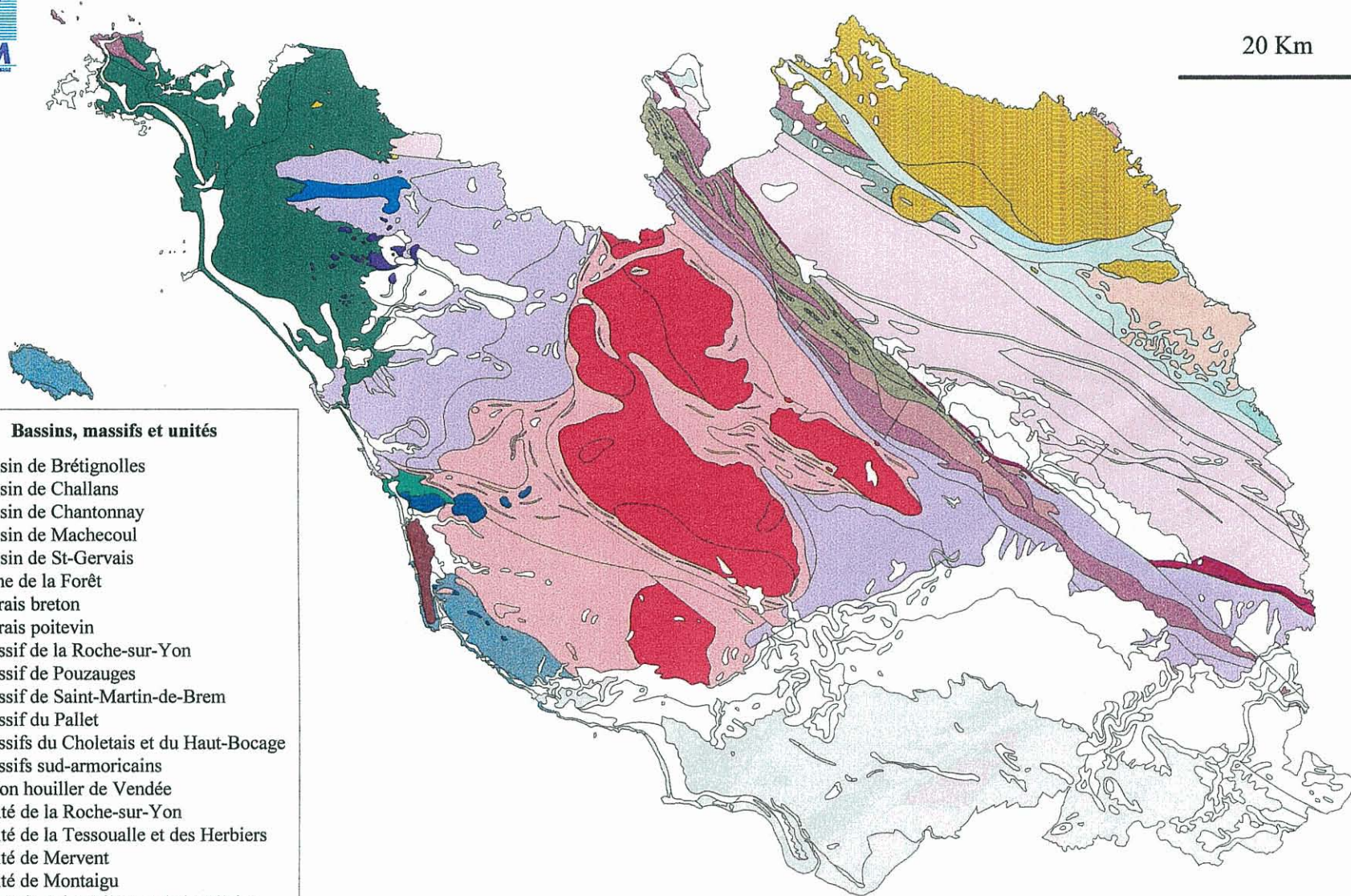
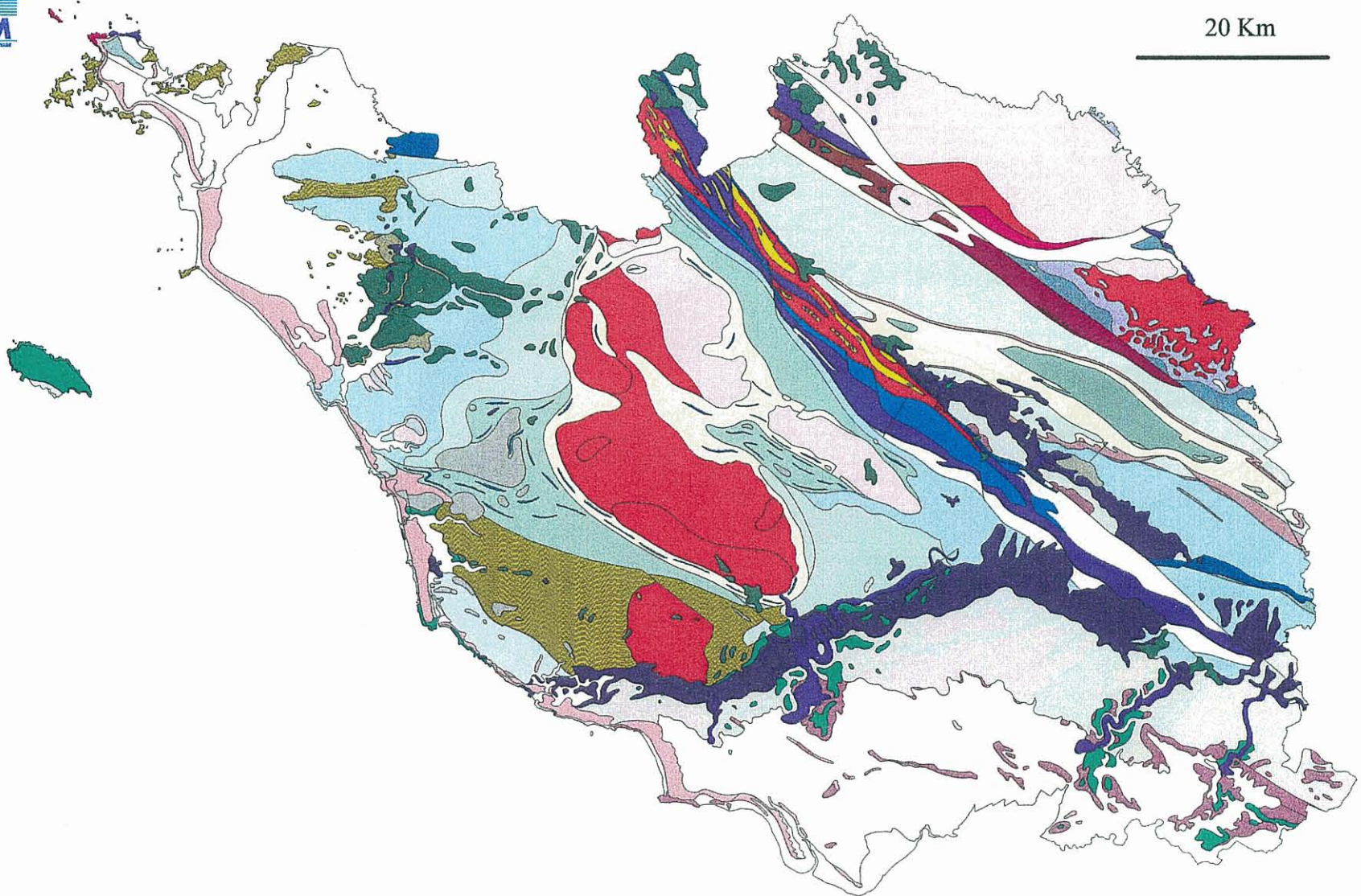


Figure 2.1. : Domaines lithostructuraux et failles relatives et majeures de Vendée



**Figure 2.2. : Bassins, massifs et unités de Vendée**  
*(d'après la carte géologique des Pays de la Loire au 1/250000ème)*



*Figure 2.3. : Lithologies de la Vendée  
(d'après la carte géologique des Pays de la Loire au 1/250000ème)*

Légende de la carte des lithologies de la Vendée

Lithologies	
	alluvions fluviatiles anciennes
	alluvions fluviatiles récentes
	alluvions fluvio-marines
	amphibolites à grenat
	amphibolites, prasinites
	amphibolites, prasinites, leptynites
	argiles et sables à silex
	argiles, sables et calcaires gréseux
	calcaires argileux ou graveleux
	calcaires et sables
	conglomérats et arkoses
	dunes et cordons littoraux
	éclogites et granulites
	gabbros, diorites
	granites
	granodiorites
	grauwackes, conglomérats
	grès quartziques
	grès, schistes, houilles
	leucogranites
	marnes, calcaires argilo-sableux
	marnes, tuffeau, craie à silex
	métagrauwackes, schistes
	métavolcanites acides, leptynites
	métavolcanites acides, orthogneiss
	métavolcanites basiques, amphibolites
	micaschistes et quartzites
	micaschistes, paragneiss à grenat
	micaschistes, paragneiss à staurotide-grenat
	microgranites
	microgranites et volcanites acides
	microgranites, leucogranites
	migmatites, granites d'anatexie
	monzogranites
	orthogneiss anatectiques, granites d'anatexie
	orthogneiss et paragneiss
	orthogneiss granitique
	orthogneiss granitiques
	paragneiss anatectiques, migmatites
	péridotites serpentinisées
	phtanites
	quartz
	sables, argiles et cailloutis
	sables, calcaires et marnes
	schistes
	schistes ardoisiers, quartzites
	schistes bleus
	schistes et grès bariolés
	schistes noirs, grès quartziques
	schistes tachetés, cornéennes
	schistes, grès, grauwackes
	schistes, grès, phtanites
	schistes, micaschistes albitiques
	volcanites acides, rhyolites, dacites, tufs acides
	volcanites basiques, basaltes, andésites, tufs basiques

## 2.2. LE SOCLE DE VENDEE

Les différents bassins, massifs et unités sont donnés en figure 2.2.. La carte des différentes lithologies, établies à l'échelle du 1/250000<sup>ème</sup>, est présentée en figure 2.3..

Pour faciliter la localisation, le transparent des limites de communes peut se superposer à ces cartes géologiques. Les numéros correspondent aux numéros INSEE des communes, abrégés pour la lisibilité. La liste des noms et des numéros de communes de Vendée est donnée en annexe 1.

### 2.2.1. Le Domaine de la Roche-sur-Yon

Ce domaine, situé en Vendée côtière, est structuré autour du massif granitique de la Roche-sur-Yon et représente le substratum de l'empilement tectonique régional; il est principalement constitué de séries méta-sédimentaires, des granites de la Roche-sur-Yon et accessoirement de méta-volcanites acides, de migmatites et d'un orthogneiss.

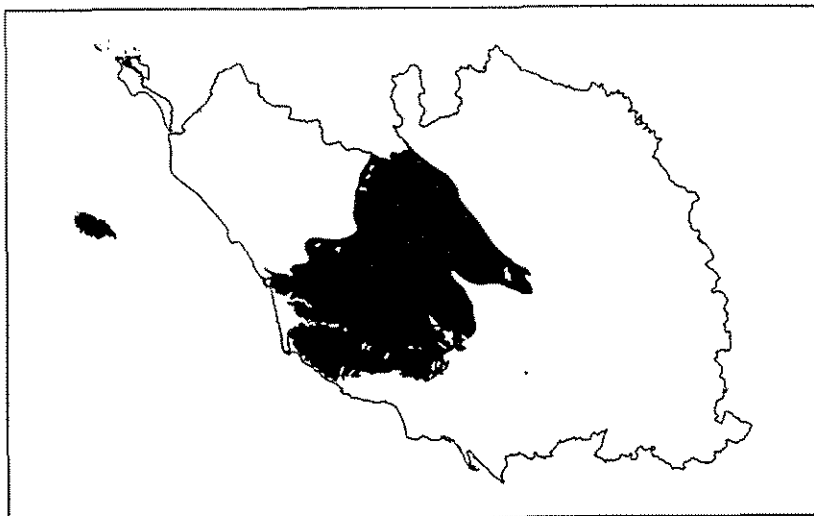


Figure 2.4. : Domaine de la Roche-sur-Yon

#### a) Les séries méta-sédimentaires

Autrefois attribuées au Briovérien (Protérozoïque supérieur), l'âge paléozoïque inférieur (540-400 Ma) de la majeure partie de ces séries est désormais démontré, bien que la chronologie détaillée ne soit, à ce jour, ni caractérisée ni cartographiée. Cinq séries ont néanmoins été distinguées d'un point de vue cartographique :

- **Les micaschistes et paragneiss de l'unité des Sables-d'Olonnes** : Cette unité, bien exposée sur l'estran au nord des Sables-d'Olonnes, correspond à une série sédimentaire affectée par un métamorphisme régional dont le gradient est

décroissant vers le nord; les paragenèses successives, (feldspath K-sillimanite-fusion partielle, disthène-biotite-staurotide-grenat, biotite-chloritoïde-staurotide; biotite-muscovite-grenat, biotite-muscovite-chloritoïde, muscovite-chlorite...) soulignent une évolution des conditions P/T du métamorphisme, de la mésozone/catazone à l'épizone. Enfin, au sein de ces micaschistes et paragneiss, sont aussi intercalés des passées de quartzites, de cipolins, de micaschistes graphiteux et d'amphibolo-pyroxénites. L'âge du protolithe sédimentaire de cette unité est inconnu; cependant, il est certain qu'une partie est d'âge protérozoïque, probablement supérieur, car il est recoupé par un orthogneiss (méta-granite) équivalent à celui de l'île d'Yeu daté à 609+/-36 Ma ; de plus, les premiers niveaux de la série sus-jacente, auxquels l'unité des Sables d'Olonnes passe en continu avec la diminution de l'intensité du métamorphisme, étant considérés comme des faciès typiques de l'Ordovicien inférieur, il est probable qu'une autre partie de cette unité soit d'âge cambrien.

- **Les schistes et grès de l'ensemble ordovicien :** Il coiffe l'unité des Sables d'Olonnes et est affecté par un métamorphisme régional épizonal. Sa base est principalement constituée de schistes lustrés vert foncé à noir, rubéfiés en surface, riches en très petites paillettes de mica blanc ; souvent riches en *pyrite* ces schistes encaissent des niveaux discontinus de 1 à 30 m de puissance, de grès grossiers à fins, parfois quartzitiques ; ces derniers, souvent assez riches en *hématite*, ont livré un fossile d'âge ordovicien. Le sommet de cet ensemble est essentiellement composé de *schistes noirs* subardoisiers, parfois *graphiteux*, paléontologiquement datés de l'Ordovicien moyen, coiffés par des schistes gris-bleu sériciteux à rares intercalations de grès micacés. Enfin, au contact du massif de granite d'Avrillé, ces schistes prennent un aspect tacheté, lié à la croissance de blastes de biotite et de cordiérite caractérisant un métamorphisme de contact engendré par la mise en place de ce granite.
- **Les schistes noirs, méta-grès et méta-phanites siluriens du Groupe de Nieu-le-Dolent :** Reposant sur l'ensemble précédent, ce groupe, ici affecté par un métamorphisme régional épizonal, est principalement constitué par des schistes ; ceux-ci, souvent *ampélitiques* et rubéfiés en surface, comportent des interstratifications de phanites ( micro-quartzites noirs à radiolaires) en bancs de 3 à 6 m de puissance ; cette association est caractéristique du Silurien. Enfin, accessoirement apparaissent aussi au sein des schistes, des niveaux de grès psammitiques, d'arkoses et localement de calcaires dolomitiques.
- **Les micaschistes, quartzites et méta-phanites siluriens du Groupe de Nieu-le-Dolent :** A la périphérie du massif granitique de la Roche/Yon, la série précédente passe, par augmentation de l'intensité du métamorphisme régional, à un ensemble composé principalement de micaschistes à silicates d'alumine ( andalousite, cordiérite puis sillimanite au contact de granite anatectique); comme précédemment, au sein de ces micaschistes sont intercalés des bandes discontinues de méta-phanites et de quartzites.

- **Les schistes et grès bariolés carbonifère inférieur de Brétignolles :** Cette série peu affectée par le métamorphisme régional (épizone à anchizone) est principalement constituée de schistes rouges et noirs ; à ceux-ci sont associés à la base, des bancs pluridécimétriques de grès feldpathiques et plus généralement des lentilles de phtanites ; enfin, localement, apparaissent aussi de rares lentilles de calcaires ; enfin le toit de la série montre des schistes à nodules phosphatés qui contiennent des conodontes d'âge carbonifère ( Tournaisien 340 Ma ).

### **b) Les séries magmatiques**

Les séries méta-sédimentaires précédentes encaissent plusieurs corps de roches magmatiques, de dimension infra-kilométrique à plurikilométrique ; ce sont soit d'anciennes roches volcaniques ou hypovolcaniques, soit des roches plutoniques.

- **Les méta-paléo-volcanites :** les méta-volcanites basiques, amphibolites souvent prasinitiques, forment seulement des niveaux d'importance réduite ; en effet, seules les méta-volcanites acides forment des passées conséquentes, tel à la base de l'ensemble ordovicien et au sein du Groupe silurien de Nieu-le-Dolent ; le massif le plus important au sein de ce dernier, est celui de la Chapelle Hermier : il est composé par une roche peu métamorphisée, de teinte claire, beige à rosée, et à structure massive ou fluidale ; elle a une composition de rhyolite potassique et latéralement elle passe à des grès tufacés interstratifiés au sein des schistes. D'autres massifs d'importance notable apparaissent aussi dans l'ensemble ordovicien, tel près de Talmont St Hilaire, à Olonnes-sur-Mer et à l'est de Château d'Olonnes ; cependant, dans ces massifs, la roche présente un aspect leptynique dû au métamorphisme régional.
- **Les méta-hypovolcanites :** elles forment plusieurs petits massifs intrusifs dans les séries paléozoïques ; les deux massifs les plus importants, ceux de Brem-sur-Mer et de Vairé, sont constitués de roches massives, souvent rosées parfois noires, à grain fin, aphyriques ou porphyriques ; dans ce dernier cas, elles comportent une matrice très finement cristalline qui emballent des phénocristaux de quartz, de feldspath et de biotite. Ces roches sont soit des rhyolites soit des microgranites. D'autres massifs de dimensions modestes, faits de ces mêmes types de roches, sont présents aussi dans la région de Château d'Olonnes.
- **L'orthogneiss et les migmatites de l'unité des Sables d'Olonnes :** Ils affleurent largement sur l'estran de la région des Sables d'Olonnes et constituent la majeure partie de l'île d'Yeu. L'orthogneiss est une roche grise, massive, assez homogène, à grain grossier, souvent ocellée, caractérisée par une foliation bien marquée et une intense linéation d'étirement. Il s'agit d'un ancien granite subalcalin fortement déformé et métamorphisé, intrusif dans la série para-dérivée de l'unité des Sables d'Olonnes ; à l'île d'Yeu il a été daté du Protérozoïque supérieur, à 609+/-36 Ma. Au cours du métamorphisme régional qui atteint ici son intensité la plus élevée (mésozone/catazone), se développe aussi un début de fusion partielle qui génère, localement, des migmatites et un granite d'anatexie.

- **Les granites de la Roche-sur-Yon :** Ces granites d'origine crustale, constituent plusieurs massifs, massifs qui, d'après les données de la gravimétrie, en constituent un seul en profondeur ; ce sont les massifs de Legé, Aizenay, Poiré-sur-Vie, Bournezeau, Aubigny et Avrillé. Bien qu'appartenant tous au même batholite, ces différents granites n'ont ni le même faciès, ni la même structure, ni forcément le même âge.
  - Les granites orientés de Poiré-sur-Vie pro parte et d'Aubigny pro parte, sont des roches d'aspect hétérogène, à grain fin et orientées ; leur paragenèse est à quartz, feldspath potassique et plagioclase, biotite, muscovite et sillimanite ; outre des silicates d'alumine, ils présentent de plus, de nombreuses enclaves de paragneiss, traits caractéristiques des granites d'anatexie contemporains du métamorphisme régional qui affectent l'encaissant para-dérivés du Groupe de Nieu-le-Dolent. Une datation à 367 Ma (Dévonien moyen) a été obtenue.
  - Les granites équants à deux micas de Poiré-sur-Vie pro parte et de Bournezeau, sont des roches claires à grain grossier, localement porphyroïdes (cristaux de FK pluricentimétriques). Leur paragenèse est à quartz, feldspath potassique et plagioclase, biotite et muscovite ; il s'agit de leucogranites peralumineux qui, soit montrent des bordures figées, soit entraînent une déformation ductile dans les granites orientés qu'ils recoupent.
  - Les granites équants à biotite de Legé, d'Aizenay, d'Aubigny pro parte et d'Avrillé, sont des roches assez sombres à grain grossier ; leur paragenèse est à quartz, feldspath potassique et plagioclase en proportion équivalente, biotite et dans une moindre mesure, muscovite. Localement, en bordure ouest des massifs de Legé et d'Aizenay, ces granites présentent une schistosité et une linéation d'étirement. Les granites équants ont été datés du Carbonifère à 340/310 Ma.

### 2.2.2. Le domaine du Bas-Bocage

Il s'étend largement en Vendée littorale et dans une moindre mesure en Vendée intérieure, au sud et à l'est de la Roche-sur-Yon; il repose tectoniquement sur le Domaine de la Roche-sur-Yon et est aussi en contact tectonique avec le Domaine des Essarts. Il comprend la formation des "Schistes de St Gilles" qui, vers l'est, par augmentation progressive du métamorphisme, passent à des micaschistes à biotite, la série des "Porphyroïdes de Vendée", la série des "Amphibolites de St Martin-des-Noyers" et les "Orthogneiss de Mervent" intrusifs dans les ensembles précédents; enfin, l'unité des "schistes bleus du Bois-de-Céné" qui coiffent tectoniquement, très localement, les "Schistes de St Gilles", est rapportée aussi à ce domaine.

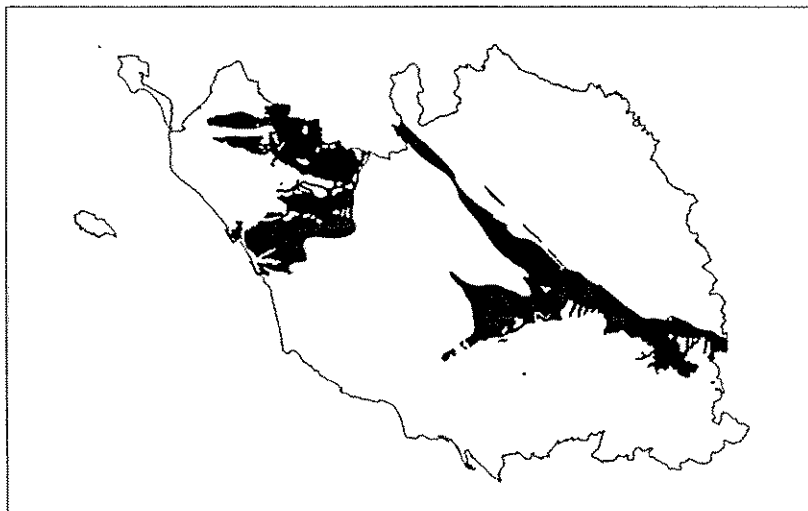


Figure 2.5. : Domaine du Bas-Bocage

#### a) Les séries métasédimentaires

- **Les Schistes de St Gilles** : Ils forment un puissant ensemble (au moins mille mètres) associant des schistes verts, des schistes micacés et des micaschistes à ocelles d'albite; de plus, localement apparaissent des intercalations de lentilles calcaires, de passées de schistes blancs siliceux et de *schistes noirs carbonés*. Les paragenèses épizonales de ces schistes comportent du quartz, souvent de l'albite en ocelles, de la muscovite, de la chlorite, et localement du chloritoïde et de la biotite; ces schistes sont issus d'un protolithe volcano-sédimentaire.
- **Les micaschistes de St Gilles** : Equivalents des schistes de St Gilles, l'accroissement du degré de métamorphisme s'y traduit essentiellement par la présence constante de la biotite. L'âge du protolithe des schistes et des micaschistes de St Gilles est inconnu; cependant ceux-ci sont recoupés, à l'est du domaine, par l'orthogneiss de Mervent daté de l'Ordovicien inférieur (495 Ma); ils sont donc au plus de cet âge et probablement plus anciens. Par ailleurs, des métavolcanites acides, considérées comme équivalentes des Porphyroïdes, ont été datées à 405 +/-5 Ma (Silurien terminal), mais cette équivalence n'est pas probante .

#### b) Les séries magmatiques

La série méta-sédimentaire de St Gilles est recoupée par les orthogneiss de Mervent et comporte des interstratifications de métavolcanites soit acides tels les "Porphyroïdes de Vendée" et les leptynites du Fenouiller et de l'Aiguillon, soit basiques telles les amphibolites de St Martin-des-Noyers et les amphibolites prasinitiques du Fenouiller et de l'Aiguillon.

- **Les "Porphyroides de Vendée"** : Ils apparaissent au nord et au sud du Domaine de la Roche-sur-Yon; ils correspondent à une série pyroclastique et volcano-sédimentaire peu métamorphique, mais affectée par une déformation très intense marquée, notamment, par une très forte linéation d'étirement. Les porphyroides forment des niveaux de plusieurs centaines de mètres de puissance au sein des schistes de St Gilles, mais aussi des passées de moindre importance, non cartographiables. Ils apparaissent comme une roche claire, massive, montrant de nombreux horizons à mégacristaux ( pluricentimétriques) de feldspath potassique emballés dans une matrice fine riche en micas blancs. De composition rhyolitique peralumineuse, ces roches sont interprétées comme d'anciennes ignimbrites avec passées de tufs, de grès tuffacés et d'arkoses, dont l'héritage volcanique est toujours bien marqué; des volcanites acides à Mareuil-sur-Lay, considérées comme équivalentes des porphyroides ont été datés du Silurien terminal à 405+/-5 Ma. Cependant cette équivalence n'est pas évidente car, contrairement aux porphyroides type, ces métavolcanites présentent une déformation nettement moins intense et leurs faciès pétrographiquement se rapprochent plus nettement de ceux des massifs de la Chapelle Hermier, de Brem-sur-Mer et de Vairé qui sont eux considérés comme appartenant au domaine de la Roche-sur-Yon.
- **Les leptynites du Fenouiller et de l'Aiguillon-sur-Vie** : Ce sont des roches claires, rosées, massives et très siliceuses, qui montrent des phénocristaux d'albite et des micas blancs. Elles correspondent à d'anciennes laves acides et tufs à interbanes sédimentaires; il est possible qu'elles soient des équivalents latéraux des "Porphyroides de Vendée".
- **Les amphibolites prasinitiques du Fenouiller et de l'Aiguillon-sur-Vie** : Ces roches ont un aspect satiné, une teinte vert clair et se débitent en plaquettes (schistosité) ; leur paragénèse comprend une amphibole bleu-vert et de nombreuses ocelles d'albite ( texture prasinitique) auxquelles sont associées, accessoirement, de la chlorite, de l'épidote, du sphène et de la magnétite. Leur composition chimique est celle d'un basalte et elles correspondent à des métavolcanites basiques associées aux méta-volcanites acides précédentes, affectées par un métamorphisme régional épizonal.
- **Les amphibolites de St Martin-des-Noyers** : Elles forment une unité étroite mais de grande extension (une cinquantaine de Km), d'allongement SE-NW. Interstratifiée dans les Schistes de St Gilles, cette unité est recoupée par les orthogneiss de Mervent d'âge ordovicien inférieur. Ces amphibolites sont des roches homogènes , rubanées ou massives, de teinte vert plus ou moins sombre, associées à de fréquentes passées de méta-volcanites acides. La paragénèse des amphibolites est à hornblende verte, albite fréquemment en ocelles, chlorite, épidote, sphène et souvent grenat; elles correspondent généralement à des métabasaltés, mais les faciès les plus massifs sont des méta-dolérites. Leur composition chimique les apparentent à des tholéiites océaniques de dorsales ou d'arcs insulaires, association compatible avec une mise en place en un contexte géodynamique de bassin marginal.

- **Les orthogneiss de Mervent** : Ils forment une unité étroite d'allongement SE-NW qui se suit sur une cinquantaine de Km et sont localement dénommés "orthogneiss de Mervent" ss, "orthogneiss de l'Angle" et "orthogneiss de Chantonnay". Ils se présentent très généralement, comme des roches grenues, à grain grossier, souvent ocellées, de teinte assez claire et affectées par une foliation souvent intense et parfois mylonitique. Leur paragenèse comprend du quartz, du feldspath potassique et plagioclase, de la muscovite, de la biotite et souvent du grenat. Ces orthogneiss ont une composition de granite peralumineux et sont intrusifs dans les Schistes et Micaschistes de St Gilles et dans les amphibolites de St Martin-des-Noyers ; ils ont été datés de l'Ordovicien inférieur, à 495 ±37/-14 Ma.

### **c) L'unité des schistes bleus du Bois-de-Céné**

Cette unité n'a qu'une extension très modérée, au NW de la Vendée dans la région du Bois-de-Céné; elle coiffe tectoniquement (faille de détachement ?) les Schistes de St Gilles, et s'enneige vers l'ouest, sous le Marais breton.

Elle est essentiellement constituée de micaschistes à ocelles d'albite dont la paragenèse comprend aussi de la muscovite, de la biotite, du grenat et parfois du glaucophane (amphibole bleue sodique), et du chloritoïde. De plus, au sein de ces micaschistes, apparaissent des intercalations de glaucophanite, de chloritites, de grenatites, de quartzites graphiteux, d'amphibolites à grenat, souvent boudinées, et des lentilles de serpentinites.

Le protolithe de cette unité est interprété comme une série volcanosédimentaire basique comparable à celle des croûtes océaniques actuelles; son âge est inconnu de même que l'âge du métamorphisme qui l'affecte. Cependant la singularité de ce métamorphisme HP/BT (haute pression/basse température) de faciès "schistes bleus", qui se développe principalement dans les zones de subduction, amène à comparer cette unité à celle de l'île de Groix où ce type de métamorphisme est daté du Silurien terminal à 400 Ma.

### **2.2.3. Le domaine des Essarts**

Il forme une bande étroite orientée NW-SE, qui se biseaute et disparaît vers le SE, au niveau de Chantonnay. Limité par deux accidents, ce domaine, d'une part chevauche vers le sud (chevauchement verticalisé souligné par des mylonites et des ultramylonites) le Domaine du Bas-Bocage et d'autre part est bordé sur son flanc nord par les failles associées au "Sillon Houiller" limitrophe du Domaine de Chantonnay.

Le Domaine des Essarts est caractérisé d'une part par une déformation très intense qui donne un aspect très feuilleté aux roches et d'autre part par la présence d'éclogites.

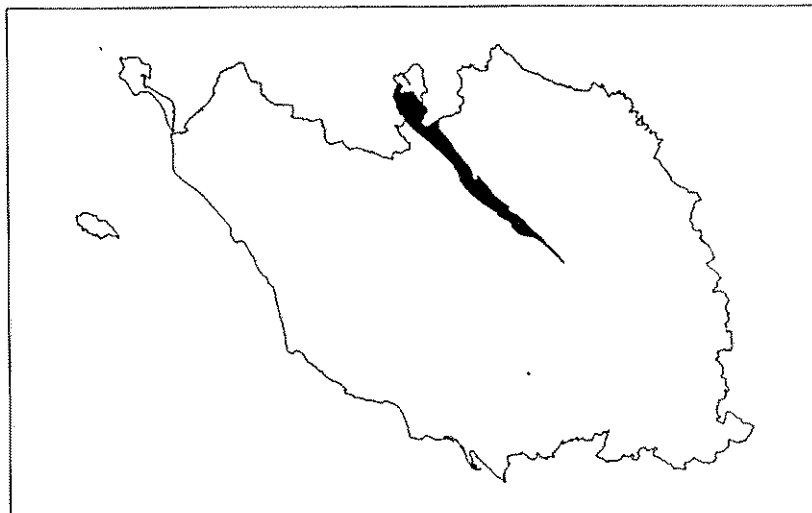


Figure 2.6. : *Domaine des Essarts*

- **Les éclogites** : Elles apparaissent en lentilles d'extension hectométrique à kilométrique, encaissées dans des amphibolites qui en dérivent. Ce sont des roches denses et compactes, à grain fin et parfois grossier, à texture massive ou rubanée et souvent caractérisées par une pigmentation rosée due au grenat dans un fond vert à pyroxène. La paragenèse primaire de ces roches est constituée principalement de clinopyroxène sodique (omphacite) et de grenat (almandin/pyrope) auxquels sont associés, accessoirement, du quartz, du rutile, de l'ilménite, des amphiboles et du disthène; elles témoignent de conditions extrêmes de métamorphisme ( $T=700^{\circ}$ ;  $P= 20 \text{ Kb}$ ) développées dans un contexte de subduction avec enfouissement des séries à plusieurs dizaines de kilomètres de profondeur.
- **Les amphibolites à grenat** : Principal encaissant des éclogites dont elles dérivent par rétro-morphose, elles forment des bandes plus ou moins dilacérées au sein d'un ensemble gneissique. Ce sont des roches vert sombre à noires, massives ou rubanées, qui montrent toujours une intense foliation parallèle à l'allongement cartographique des bandes. Leur paragenèse est principalement constituée d'amphibole calcique verte, de feldspath plagioclase et accessoirement d'épidote, de sphène et de grenat. Enfin, associés à ces amphibolites apparaissent aussi des niveaux de leptynite à grenat, roches claires à grain fin, souvent rubanées. L'origine magmatique de cette association leptyno-amphibolite-éclogitique est certain; en effet, les faciès basiques ont des compositions de tholéiites de dorsale océanique (MORB, gabbro cumulatif et basalte) et correspondent à une croûte océanique d'âge indéterminé qui a été subductée et soumise aux conditions extrême du « faciès éclogite » au Silurien, (d'après une datation à  $436 \pm 15/-12 \text{ Ma}$

de ce métamorphisme) avant d'être boudinés et dilacérés au cours de la tectonique collisionnelle varisque dévono-carbonifère.

- **L'ensemble gneissique** : Il encaisse les unités basiques précédentes; il est lui-même très fortement déformé et porte la marque d'un métamorphisme de haut grade, le "faciès granulite", bien qu'il ait ensuite subi une rétro-morphose accentuée. L'intense déformation donne un aspect très finement feuilleté à la roche, aspect feuilleté encore accentué par leur grande richesse en micas, due à la rétro-morphose. De ce fait, le caractère ortho ou para-dérivé de cet ensemble gneissique est souvent difficile à établir: les gneiss riches en feldspath parfois en grands cristaux étirés et en micas pourraient dériver d'anciens granites; les gneiss quartzeux riches en micas et en grenats pourraient dériver d'anciens sédiments; enfin, localement, ces gneiss quartzeux passent à des niveaux de quartzite sombre rubané à mouchetures d'hématite.
- **Les orthogneiss** : le Domaine des Essart comprend aussi des bandes d'orthogneiss, allongées parallèlement à l'axe du domaine, dont les relations avec les autres unités sont indéterminées; ces orthogneiss, à grain grossier, généralement ocellés, paraissent moins intensément déformés que les gneiss précédents et ils ne présentent apparemment pas de reliques de métamorphisme de haut grade ; leur paragenèse est à quartz, feldspath plagioclase dominant, feldspath potassique, biotite et dans une moindre mesure, muscovite et parfois grenat. A la Roche-Servière ce type d'orthogneiss est daté de l'Ordovicien inférieur à 483 +/- 4 Ma.

#### 2.2.4. Le domaine de Chantonnay

Ce domaine, large de 10 Km au plus, présente un allongement NW-SE et s'étend sur une soixantaine de kilomètres, depuis la région de Grand-Lieu au NW où il s'ennoie sous les dépôts pliocènes, jusqu'à celle de St Maixent au SE, où il est coiffé par la couverture sédimentaire jurassique ; cette même couverture coiffe aussi ce domaine, localement, sur son flanc sud, dans la région de Chantonnay. Le Domaine de Chantonnay est limité sur sa bordure méridionale par les failles associées au "Sillon Houiller Vendéen" ; sur son flanc nord, il est en contact soit avec le Domaine du Haut-Bocage par l'intermédiaire de la branche principale du "Cisaillement Sud-Armoricain" (CSA), soit avec le Domaine de St Nazaire par l'intermédiaire d'une branche annexe de ce même CSA.

Il est principalement constitué par un ensemble sédimentaire et volcanique paléozoïque, faiblement métamorphique (début de l'épizone avec conservation des structures sédimentaires et des fossiles) qui, localement, repose sur un socle métamorphique probablement protérozoïque. Enfin, localement, il est recoupé par des petits massifs de granite.

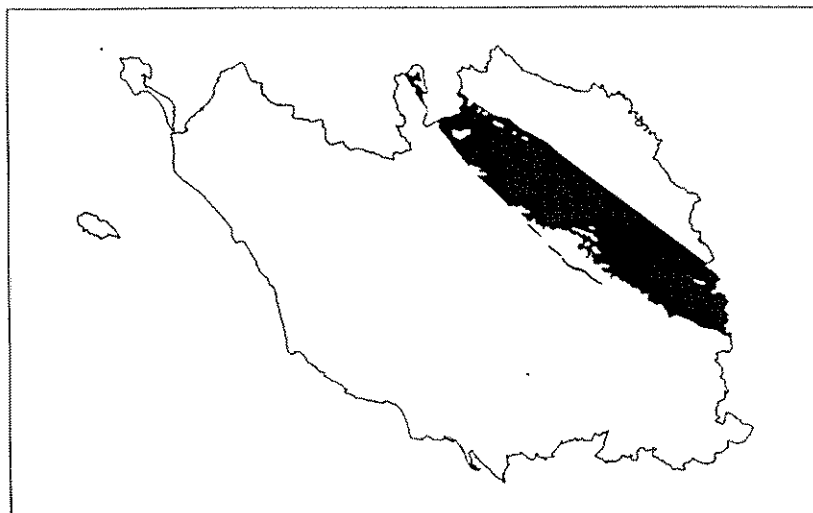


Figure 2.7. : Domaine de Chantonnay

- **Les schistes, micaschistes, gneiss et amphibolites du socle métamorphique :** Il apparaît en une bande étroite sur le flanc nord du domaine ; il est essentiellement constitué, dans sa moitié sud, de schistes micacés à chlorite et muscovite, schistes qui, dans sa moitié nord, évoluent vers des micaschistes à biotite et muscovite. A la base de ces micaschistes sont intercalées des leptynites, puis des amphibolites, lesquelles deviennent rapidement prépondérantes et forment alors la série des "leptynites et amphibolites de Montaigu" d'extension plurikilométrique. Ces amphibolites correspondent soit à des méta-basaltes soit à des méta-gabbros, ces derniers étant plus massifs. Enfin, à la base de cet ensemble, apparaissent aussi des lentilles de serpentinites.
- **Les séries méta-sédimentaires basales (Cambrien ?) :** Elles présentent une évolution latérale de faciès, du sud (Formation de Sigournais) au nord du domaine (Groupe de St Fulgent) où elles reposent en discordance sur le socle métamorphique. Le Groupe de St Fulgent comprend de bas en haut :
  - Une formation volcano-sédimentaire (Fm. de Montournais), de 500 à 900 m de puissance, composée de grès et de pélites verdâtres avec des interstratifications de conglomérats, de grauwackes, de tufs acides, de rhyolites et de rhyodacites.
  - Une formation (Fm. des Gerbaudières) de 600 à 800 m de puissance, principalement constituée de shales noirs, parfois sub-ardoisiers, et de pélites avec localement de rares interstratifications pluridécimétriques de calcaires gréseux et de microquartzites graphiteux.

- Une formation (Fm. de Bourgneuf) de 500 à 1000 m de puissance, essentiellement composée de grauwackes, de grès et de siltstones verts en bancs pluridécimétriques à métriques, formant des séquences répétitives.

Sur le flanc sud du domaine, cette série basale est écaillée vers le nord et sa base n'est pas visible étant masquée soit par la couverture sédimentaire jurassique soit par les accidents du "Sillon Houiller Vendéen" ; dénommée "Formation de Sigournais", elle est composée de schistes et de grès avec interstratifications de bancs de poudingue et localement de shales graphiteux et d'ampélites. Enfin, cette formation est recoupée par des filons de roches grenues basiques (dolérites), souvent associées à des rhyolites ou des microgranites aphanitiques.

- **Les méta-volcanites acides (Fm. de la Chataigneraie); Cambrien terminal-Ordovicien (?)** : Cette formation est développée surtout dans la moitié sud du domaine, alors qu'elle est très amincie et discontinue dans la moitié nord. Elle est constituée, principalement, d'ignimbrites schistosées avec une matrice fine, gris clair à rosée, qui emballe des phénocristaux millimétriques de quartz et de feldspath et qui montrent aussi parfois, des "textures en flammes"; à ces ignimbrites sont associés des tufs et des rhyolites. La composition chimique silico-alumineuse de ces roches témoigne de leur origine par fusion crustale. Leur âge est indéterminé, mais il est très probablement Cambrien terminal à Ordovicien car elles sont coiffées par une série de quartzites très comparables à la Formation des "Grès Armoricaux".
- **Les méta-grès quartzitiques (Fm. de la Chataigneraie) ; Ordovicien inférieur (?)** : Cette formation est très comparable, par analogie de faciès, à celle des "Grès Armoricaux", bien connue par ailleurs dans le Massif armoricain ; bien que de puissance modeste (50 m), elle est continue dans la moitié nord du domaine alors que dans la moitié sud, où sa puissance peut atteindre 100m, elle est discontinue du fait de la tectonique tangentielle qui l'affecte. Elle est constituée de grès quartzitique blanc, très mature, en bancs massifs métriques à plurimétriques ; vers le haut de la formation la granulométrie s'affine et on passe à des siltstones blancs en plaquettes qui deviennent micacés.
- **Les schistes, méta-grès et phanites (Gp. de Réaumur) ; Ordovicien sup.-Dévonien inf.** : Cet ensemble schisto-gréseux de plusieurs centaines de mètres de puissance comprend de bas en haut :
  - une série (100 m) de *méta-pélites gréseuses noires à pyrite*, parfois psammitiques, associées à des shales gris clair, sériciteux, qui encaissent des niveaux de microquartzites gris et de phanites (microquartzites noires).
  - une série à *schistes gris-noir* sériciteux et phanites ; ces dernières disposées en lits plurimillimétriques à décimétriques, forment un niveau repère très continu au nord du domaine. Localement, des graptolites ont permis de dater cette série du Silurien.

- une série sommitale qui débute par 100 à 200 m de shales gris clair à verdâtre, localement coiffés par des bancs plurimétriques de calcaires massifs à entroques; ensuite viennent 100 à 200 m de méta-pélites gréseuses sombres qui montrent à leur sommet des niveaux à nodules siliceux et oolithes chloriteuses; le toit de la série est composé de méta-pélites psammitiques qui localement encaissent des bancs lenticulaires de quartzite à *pyrite*.
- **Les méta-volcanites basiques de La Meilleraie** : Cet ensemble occupe le centre du Domaine et a une puissance considérable, de l'ordre de 1000 m ; il comprend des coulées massives et en pillow-lavas, des brèches volcaniques, des hyaloclastites, des cinérites et des tufs; de plus, des sills et des dykes basiques recoupent ces laves. Cet ensemble a une composition de basaltes, spillitisés par des transformations hydrothermales lors de leur effusion en milieu marin. Leurs caractères géochimiques montrent qu'il y a dans ce complexe volcanique, mélange de deux lignées magmatiques (N-MORB et calco-alcaline) mises en place en un contexte géodynamique d'arc insulaire.
- **Les intrusions granitiques** : Le "granite de Bazoges-en-Pailers" est intrusif dans le socle métamorphique au NW du domaine ; ce leucogranite appartient au chapelet de granites qui jalonnent le "Cisaillement Sud-Armoricain" et qui se mettent en place à la fin du Dévonien et au Carbonifère. Le "granite de Bazoges-en-Pareds", en partie coiffé par la couverture sédimentaire jurassique, recoupe la formation schisto-gréseuse de la Sigournais au sud du domaine; ce granite porphyroïde (porphyroblastes pluricentimétriques de feldspath potassique) est nettement orienté (structures c/s) ce qui lui donne un aspect gneissique et il est riche en biotite ce qui lui confère une teinte assez sombre; il développe dans son encaissant un métamorphisme de contact marqué notamment par des blastes de biotite; son âge est indéterminé. Enfin des granodiorites à grain fin apparaissent en deux petits massifs qui recoupent les méta-volcanites de la Meilleraie au sud du domaine.
- **Le Sillon Houiller Vendéen ; Carbonifère sup.** : Il souligne la bordure méridionale du Domaine de Chantonay qui est ainsi séparé, au nord du Domaine des Essarts et au sud du Domaine du Bas-Bocage. Ce sillon, qui correspond à un grabben ou un demi-grabben, forme une étroite lanière, large de quelques dizaines à quelques centaines de mètres; individualisé seulement au Carbonifère supérieur, il est comblé de sédiments continentaux terrigènes, non métamorphisés; ces derniers, souvent grossiers, sont constitués de conglomérats et de grès feldspathiques grossiers au sein desquels sont interstratifiés des niveaux d'argilites et des *passées charbonneuses*. Ces sédiments sont datés du Carbonifère supérieur, Westphalien à Stéphanien (300-315 Ma).

### 2.2.5. Le domaine de Saint-Nazaire

En Vendée, il apparaît seulement dans le nord du département où il se termine en un biseau coïncé entre les domaines du Haut-Bocage au nord et de Chantonay au sud ; il

est en effet délimité par la branche principale et une branche annexe du "Cisaillement Sud-Armoricain". Il comprend un orthogneiss et un leucogranite.

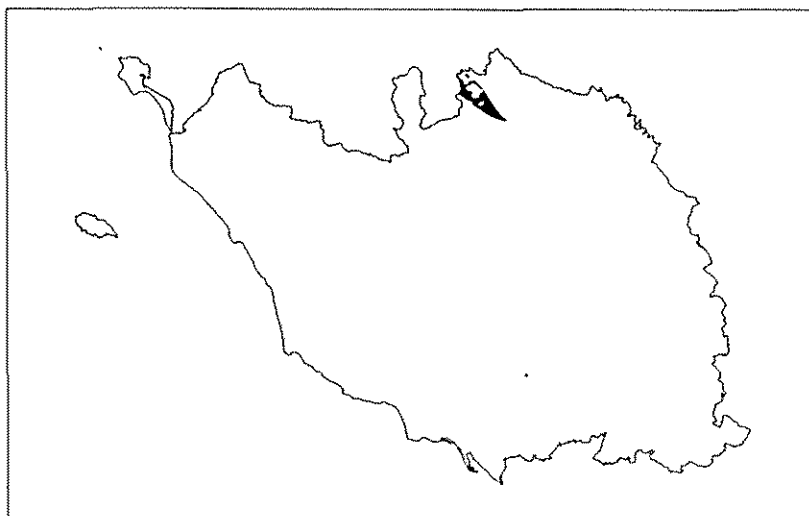


Figure 2.8. : *Domaine de Saint-Nazaire*

- **L'orthogneiss anatectique de Montaigu** : Il forme une bande étroite axée NW-SE, qui, de proche en proche, se poursuit vers le NW jusqu'au Pellerin sur les rives de la Loire. De teinte claire, cet orthogneiss apparaît rubané et parfois cœillé et sa foliation est toujours bien marquée; sa paragenèse se compose de quartz, de feldspath, de biotite, de muscovite et parfois de grenat; localement il montre un début de fusion partielle (anatexie). Son âge est indéterminé.
- **Le leucogranite de Montaigu** : Il appartient à la famille de leucogranites qui jalonnent le "Cisaillement Sud-Armoricain" ; il se présente comme une roche assez claire, à grain moyen ou grossier, avec des phénocristaux de feldspath, et la biotite est généralement prépondérante sur la muscovite.

### 2.2.6. Le Domaine du Haut-Bocage

Ce domaine, contrairement aux précédents, est situé au nord du "Cisaillement Sud-Armoricain" et de ce fait, il appartient à un autre bloc géodynamique dont l'histoire, avant la collision varisque, est totalement indépendante de celle du bloc méridional précédemment décrit. Ce domaine comprend un ensemble méta-sédimentaire, l'unité du Haut-Bocage, un ensemble migmatitique, l'unité des Herbiers et plusieurs massifs de granite et localement, de tonalite et de gabbro-diorite.

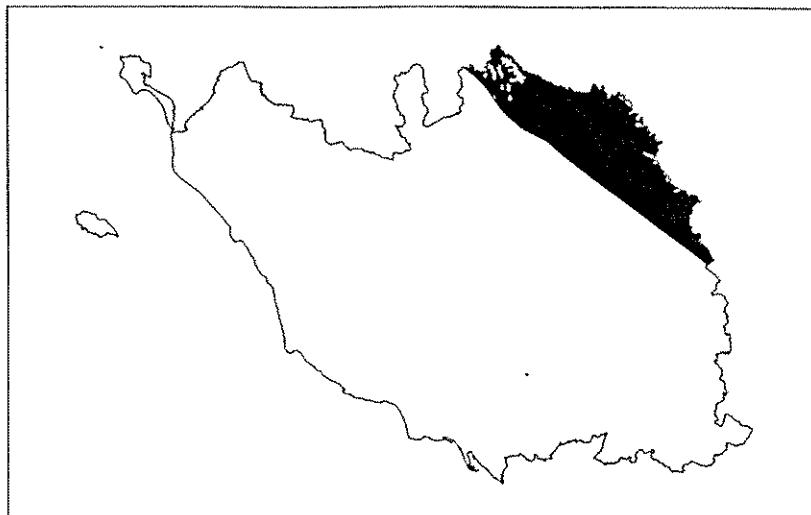


Figure 2.9. : Domaine du Haut-Bocage

- **L'ensemble méta-sédimentaire, l'unité du Haut-Bocage** : Elle est principalement constituée de schistes fins à séricite et chlorite qui montrent un gradient métamorphique croissant vers le nord où ils passent progressivement à des micaschistes à muscovite et biotite. Localement cette unité comprend aussi une série (Fm. des Epesses) de quartzites finement lités et de méta-grès grauwackeux massifs; enfin, elle inclue une formation massive, d'extension limitée (Fm. de St Mars-Ardelais), qui comprend des méta-grès fins, friables, de teinte brune, comportant de rares horizons plurimétriques noirs, *riches en matières organiques*.

Toutes ces séries, au contact du « granite de Pouzauges », subissent un métamorphisme de contact et se transforment en cornéennes, roches gris sombre, à grain fin, très dures et sans débit préférentiel. Ce granite étant daté de l'Ordovicien inférieur les séries méta-sédimentaires de l'unité du Haut-Bocage sont probablement d'âge protérozoïque à cambrien.

- **L'ensemble migmatitique, l'unité des Herbiers** : Elle dessine une lame courbe en bordure méridionale du granite de Mortagne qui recoupe son flanc nord, alors que sur son flanc sud, elle est limitée par la "faille des Epesses". Cette unité est constituée de migmatites hétérogènes qui présentent deux principaux faciès: gneiss riches en biotite, assez sombres, à grain fin/moyen, à rubanement irrégulier et plus ou moins flou (nébulitique) ; gneiss à grain fin/moyen à rubanement régulier déformé par des plis anisopaques et présentant des leucosomes quartzofeldspathiques injectés dans la foliation. Ces migmatites correspondent à des paragneiss affectés par une fusion partielle plus ou moins accentuée.

- **Le granite de Pouzauges** : Il est intrusif dans l'unité méta-sédimentaire du Haut-Bocage, dans laquelle il induit une auréole de métamorphisme de contact. Roche grenue à grain moyen, homogène, de teinte assez sombre gris rosé, ce granite présente une altération en boule ; sa paragenèse est à quartz, feldspath potassique et plagioclase, biotite et, dans les faciès les plus sombre, amphibole brune souvent altérée en chlorite ; sa composition chimique le rattache à la famille des monzogranites quartziques et à une lignée calco-alkaline. Daté de l'Ordovicien inférieur à 483+/-22 Ma, le granite de Pouzauges a la particularité de ne présenter aucune trace de déformation (orthogneissification) associée à la tectonique varisque, bien qu'il soit néanmoins, affecté par un métamorphisme de « faciès schiste vert » identique à celui de son encaissant.
- **Le leucogranite de Châteaumur-Les-Châtelliers** : Situé en bordure nord du granite de Pouzauges, il forme un petit (2 x 8 Km) massif d'allongement est-ouest; il recoupe l'unité méta-sédimentaire du Haut-Bocage, les cornéennes et localement, le granite de Pouzauges lui-même. Ce leucogranite présente trois principaux faciès: au cœur du massif la roche est gris-rosé, à grain moyen/grossier, porphyroïde, avec une paragenèse à deux micas ; en périphérie, elle a un grain moyen, homogène et la muscovite est dominante ; enfin, à l'extrémité orientale du massif, elle présente un grain fin/moyen, une couleur blanche et sa paragenèse est caractérisée par une grande richesse en albite.
- **Le granite de Mortagne** : Il forme un vaste massif qui appartient à la grande famille des leucogranites qui jalonnent le "Cisaillement Sud-Armoricain". Le granite de Mortagne présente deux principaux faciès; le plus fréquent correspond à un leuco-monzogranite de teinte rosée à jaunâtre, à grain moyen/grossier, porphyroïde avec d'abondants porphyroblastes pluricentimétriques de feldspath potassique, souvent orientés, emballés dans une matrice à quartz, feldspath et biotite prépondérante sur la muscovite.; le second faciès est un monzogranite beige-rosé, à grain fin/moyen, riche en biotite et comportant parfois de la sillimanite. D'autres faciès de moindre extension, sont aussi présents: monzogranite à grain moyen/grossier à muscovite dominante, leucogranite albitique à grain moyen/grossier...Enfin, tous ces faciès montrent une structuration caractéristique d'une mise en place synchrone du jeu du "Cisaillement Sud-Armoricain" : déformation précoce acquise au cours de la montée du magma et s'exprimant par une fluidalité magmatique subverticale axée NW-SE; déformation tardive affectant un granite déjà solidifié et se manifestant par des bandes de cisaillement qui donnent à la roche une texture planaire mylonitique. Le granite de Mortagne est daté du Carbonifère à 313 +/- 15 Ma.
- **La diorite quartzique du Chatillonnais et la tonalite de Montcutant** : Ces deux entités n'apparaissent que peu dans le département de Vendée. La diorite quartzique du Chatillonnais borde le flanc nord du granite de Mortagne dont elle est séparée par la faille de Bressuire, branche annexe du "Cisaillement Sud-Armoricain". C'est une roche sombre, grenue, à grain moyen/grossier, sans structure visible, avec une paragenèse assez variable : feldspath plagioclase et

potassique, hornblende verte, biotite et accessoirement quartz. Cette diorite est datée du Dévonien moyen/supérieur à 360 ±11/-10 Ma. Le granite tonalitique de Moncoutant apparaît au sud du massif granitique de Pouzauges et recoupe les méta-sédiments de l'unité du Haut-Bocage. Il est caractérisée par de grands porphyroblastes blancs de feldspath emballés dans une matrice sombre à biotite et amphibole.

## **2.3. La couverture sédimentaire post-paléozoïque de Vendée**

### **2.3.1. Les formations jurassiques de Chantonnay**

Sur le flanc sud du bassin de Chantonnais, entre Cezais et le travers des Essarts, en passant par Chantonnais, les formations métamorphiques paléozoïques sont coiffées par une couverture sédimentaire du Jurassique. La présence et la conservation de cette couverture est liée au fonctionnement en héli-graben du bassin de Chantonnais le long des accidents NW-SE qui ont engendré aussi le "Sillon Houiller Vendéen"; en effet, s'il est admis que ces failles initiées au Paléozoïque, ont eu un fonctionnement synsédimentaire au cours du Jurassique, il apparaît que l'essentiel de leur rejet (de l'ordre de 140 m en vertical, localement) a été acquis après le dépôt des séries jurassiques mais avant l'établissement de la surface d'érosion du Paléocène/Eocène ; ces rejeux tardifs ont ainsi permis la conservation de ces séries hors des effets de l'érosion. La couverture sédimentaire jurassique comprend de bas en haut :

- une série de 30 à 50 m de puissance (Hettangien-Sinemurien), à argiles rouges, et argiles vertes qui passent à des calcaires jaune-brun dolomitiques,
- une série de 10 à 15 m de puissance, (Carixien-Domérien) constituée de calcaires marneux ,de marnes et de calcaires bioclastiques,
- une série de 10 à 15 m de puissance, (Toarcien-Aalénien) constituée de schistes « carton » et de marnes noires à bancs calcaires qui se terminent par un niveau à oolithes ferrugineuses et nodules phosphatés,
- une série du de 30 à 40 m de puissance, (Bajocien-Bathonien) à calcaires bioclastiques et accessoirement marnes,
- une série de 20 à 30 m de puissance, (Callovien) composée de marnes et de calcaires.

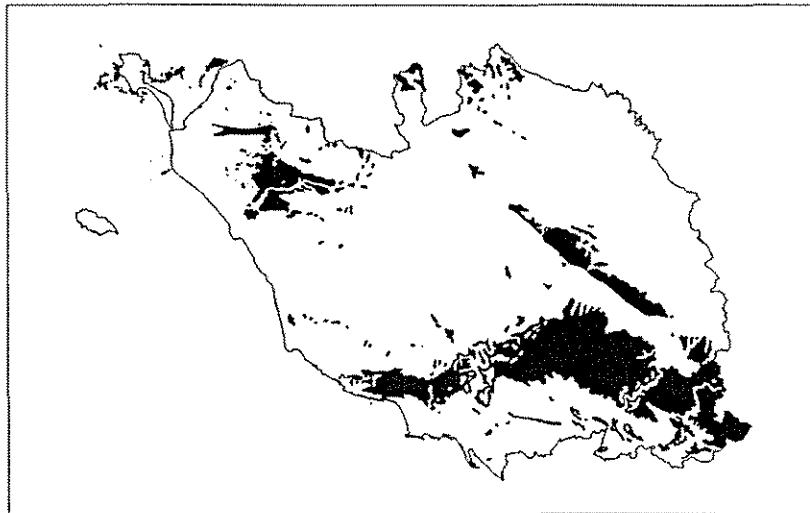


Figure 2.10. : Couverture jurassique de la Vendée

### 2.3.2. Les formations d'âge crétacé et tertiaire de la Vendée littorale

- **Les formations d'âge crétacé :** Elles reposent en discordance sur le socle métamorphique du Domaine du Bas-Bocage, en bordure orientale du Marais Breton, sous lequel elles s'engouffrent. Leur extension maximale vers l'est se situe dans la partie amont de la vallée du Ligneron où elles ont été protégées de l'érosion paléocène/éocène en un demi-graben axé W.NW-E.SE. Ces séries témoignent des nouvelles transgressions marines qui s'avancent sur le socle de Vendée au Crétacé supérieur (du Cénomaniens moyen au Sénonien); leur puissance est modérée et elles montrent de bas en haut :
  - 1 à 6 m de sables et d'argiles noires, à pyrite parfois abondante,
  - 7 à 8 m de marnes et calcaires avec présence de pyrite à la base,
  - 10 à 12 m d'argiles noires, de calcaires, de calcaires sableux et de marnes glauconieuses,
  - 10 à 15 m d'argiles noires, associées à des marnes sableuses, des calcaires à rudistes, des sables siliceux à concrétions gréseuses et des argiles à spongiaires.
- **Les formations d'âge éocène (Tertiaire) :** Elles apparaissent localement en « îlots », au sein du Marais breton et sur l'estran de l'île de Noirmoutier, et de façon plus continue, dans le bassin de St Gervais et celui de La Vérie au SW de

Challans. A La Vérie, les séries éocènes ne dépassent pas 12 m de puissance et elles sont composées principalement de calcaires gréseux à intercalations sableuses. Dans le bassin de St Gervais qui correspond à un petit grabben E-W, les séries éocènes coiffent localement les argiles noires d'âge créacé et plus généralement le socle; elles débutent par un niveau métrique de cailloutis et de sables quartzeux grossiers; cette base est surmontée par 2m de sables fins quartzeux et de grès calcareux, puis par 3 à 7 m de calcaires bioclastiques à lentilles sableuses et enfin par 2 à 3 m de sables verts à glauconie ou de calcaires sableux et de sables calcaro-siliceux.

- **Les formations d'âge miocène et tertiaire indéterminé** : Des calcaires bioclastiques à bryozoaires, dont la puissance n'excède pas 8 m, sont présents, localement, à Challans; Ils témoignent de la transgression de la « mer des faluns » sur la Vendée, au Miocène (Helvétien). D'autres faciès marins carbonatés d'âge Pliocène sont connus aussi en reliques dans cette même région; cependant plus généralement les séries d'âge tertiaire indéterminé sont représentées par des sables et graviers essentiellement siliceux, dont la puissance est toujours modeste (< 10 m) et qui apparaissent en placages tel près de Saint-Maixent-sur-Vie, le long de la vallée du Ligneron et aux Essarts.

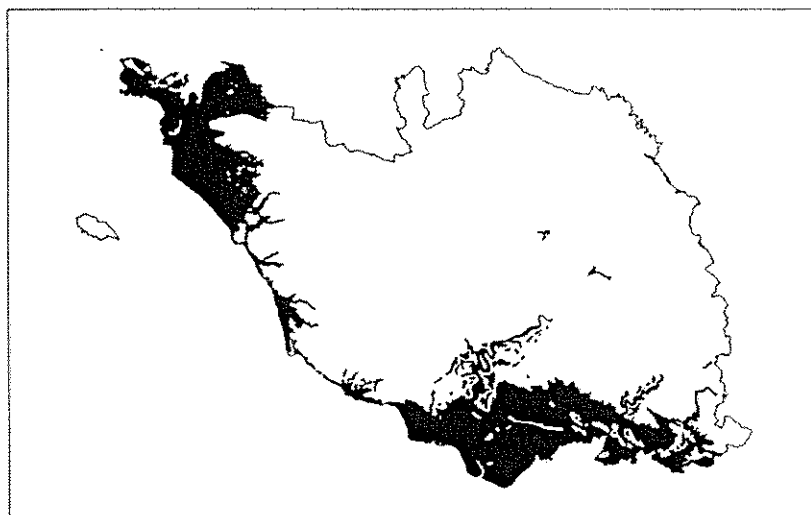


Figure 2.11. : Couverture tertiaire de la Vendée

## 2.4. STRUCTURE ET METAMORPHISME VARISQUE

En l'état actuel des connaissances, il existe peu de données sur les structures et métamorphismes anté-varisques ; seul le métamorphisme de contact associé au granite de Pouzauges, (d'âge ordovicien) est assez bien caractérisé dans l'unité métasédimentaire du Haut-Bocage.

En effet, l'essentiel des déformations connues dans les différents domaines litho-structuraux de Vendée résultent de la tectonique collisionnelle varisque, bien que toutes les unités, de natures et d'origines diverses, n'aient pas eu la même évolution.

Certaines unités, tels les « schistes bleus de Bois de Céné et les « éclogites et amphibolites des Essarts », témoignent ainsi d'une phase d'enfouissement précoce, (Silurien) antérieure à la phase collisionnelle proprement dite, qui se déroule au Dévonien/Carbonifère. Le métamorphisme de type HP/BT implique que cet enfouissement se soit déroulé en un contexte géodynamique de subduction.

La phase collisionnelle ss est marquée par un métamorphisme régional de type Barrowien MP/MT ou MP/HT associé à des déformations polyphasées; les roches sont alors affectées par plusieurs générations de plis et par différents types de schistosités, fonction notamment, de l'intensité et du gradient du métamorphisme général :

- Ainsi les unités méta-sédimentaires montrent généralement, une transposition totale; en ce cas, toutes traces des éléments ou structures sédimentaires ayant disparu, les roches sont caractérisées par une schistosité de flux principale qui donne son aspect feuilleté et son débit préférentiel à la roche; cette schistosité peut être déformée par des plis postérieurs et recoupée par une schistosité de crénelation tardive. De plus les paragenèses néoformées à partir d'un même protolithe évoluent aussi en fonction du gradient et de l'intensité du métamorphisme.
- Dans certaines unités cependant, telle celle de Chantonay, l'intensité du métamorphisme est faible (anchizone et début de l'épizone) ; en ce cas, en dépit des déformations plicatives et de recristallisations modestes, les structures (stratification) et les caractères sédimentaires des roches restent prépondérants ; ceci s'observe aussi dans certaines parties d'unité, tel à Brétignolles et dans une partie de l'unité de Nieu-Le-Dolent (Domaine de La Roche-Sur-Yon), où le gradient du métamorphisme permet la conservation des structures et de nombre des caractères sédimentaires des roches.

La tectonique collisionnelle varisque est marqué aussi, par l'accordance tectonique des différentes unités litho-structurales; cette accordance peut se réaliser par chevauchement/détachement tel dans le cas du domaine du Bas-Bocage sur le domaine de La Roche-sur-Yon ; elle se marque en ce cas par une très forte linéation d'étirement dans les "porpyroïdes" qui jouxtent le contact.

L'accordance peut aussi se réaliser par des décro-chevauchements orientés NW-SE, dont le principal est le « Cisaillement Sud-Armoricain »; ce dernier marque la collision des Blocs sud et nord-armoricain et il est associé à des branches annexes qui se développent en parallèle, et soulignent aussi la limite de domaines litho-structuraux, tel celui de Chantonay sur son flanc sud et celui des Essarts. Ces décro-chevauchements se traduisent par une dilacération des unités et la formation de bandes de cisaillement caractérisées par des roches mylonitisées ou des ultramylonites. Enfin, dans le cas du

Domaine de Chantonnais, les écaillages vers le N, qui affectent les séries dans la partie SE de cette entité, sont liés aussi aux jeux de telles structures.

## **2.5. STRUCTURES POST-VARISQUES**

Certains des décro-chevauchements jouent postérieurement au climax de la tectonique collisionnelle varisque; ceci est particulièrement illustré le long de l'accident NW-SE qui limite le flanc sud du Domaine de Chantonnay :

- cet accident rejoue tout d'abord au Carbonifère supérieur; cette activité post à tardi-orogénique génère alors, le "Sillon Houiller Vendéen",
- cet accident rejoue au Jurassique et se marque par des structures tectoniques syn sédimentaires dans la couverture jurassique,
- cet accident rejoue entre le Jurassique supérieur et le Crétacé, générant un hémigraben dans lequel les séries Jurassiques sont conservées hors de portée de l'érosion paléocène-éocène,
- enfin, cet accident rejoue très probablement au Tertiaire permettant le dépôt et la conservation de séries de cet âge.

D'autres accidents cassants apparaissent aussi postérieurement à la tectonique collisionnelle varisque ; ils s'agit de failles liées soit aux contre-coups de l'ouverture de l'Atlantique soit à la collision alpine. Ces failles peuvent s'individualiser dès la fin du Paléozoïque et elles jouent aussi à plusieurs époques, notamment au Tertiaire et sont pour certaines d'entre elles toujours actives. Elles appartiennent à deux familles principales orientées respectivement au 130/150 avec généralement un mouvement dextre, et au 30/50 avec généralement un mouvement sénestre. Ce type de failles est ainsi bien marqué sur le flanc sud du Domaine des Essarts, mais aussi en Vendée littorale près des Sables d'Olonnes et en bordure du Marais breton; dans cette dernière région elles ont généré de petits grabbens ( La Vérie-Comméquiens, Challans-Ligneron, St Gervais) où se sont déposées et conservées des séries sédimentaires d'âge crétacé et tertiaire.

### **3. Principe de la méthode de sélection des zones à plus fortes probabilités de ressource**

#### **3.1. CHOIX DE LA METHODE ET DES DONNEES**

##### **3.1.1. Origine de la méthode statistique**

La méthode proposée pour définir des zones potentiellement favorables pour l'exploitation des ressources en eau souterraine en zone de socle a été appliquée en Bretagne (Talbo H., (1995)) et en Mayenne (Duermael G., (1997)).

La méthode est inspirée des études effectuées lors du programme d'approvisionnement en eau des villages situés en zone de socle de la République Centrafricaine (Detay M., (1985)), (Detay M. & Doutambaye C. (1989)). La complexité des lithologies de socle, et l'hétérogénéité spatiale des résultats de forages (forages productifs ou non) au sein d'une même lithologie, ont fait apparaître que les comportements hydrogéologiques "moyens" ne pouvaient être caractérisés que de manière statistique ou probabiliste. Le nombre important de forages a offert l'opportunité de développer des méthodes statistiques et probabilistes.

##### **3.1.2. Données de base : débit instantané**

###### **a) Méthode de mesure**

La quasi-totalité des forages réalisés dans le socle le sont par la technique du marteau-fond-de-trou, qui comprend trois composantes principales (cf. figure 3.1.) :

- un marteau pour la foration, équipé d'un taillant adapté au terrain, fonctionnant à l'air comprimé haute pression,
- un compresseur fournissant l'air comprimé à la pression et au débit souhaités,
- une foreuse assurant les mouvements de montée/descente, ainsi que la rotation du train de tiges et du marteau.

L'air comprimé assure la frappe du marteau sur le taillant, et permet d'évacuer par l'annulaire (espace compris entre l'ensemble marteau/train de tiges et la paroi du forage), les cuttings et une partie de l'eau rencontrée. L'émulsion air/eau constitue un véritable pompage dont le débit peut être mesuré : l'eau, éjectée du forage en cours, est canalisée par des diguettes vers un tuyau en sortie duquel le débit peut être estimé. Ce débit au soufflage est dit débit instantané, dans la mesure où il n'est maintenu que le temps de l'émulsion.

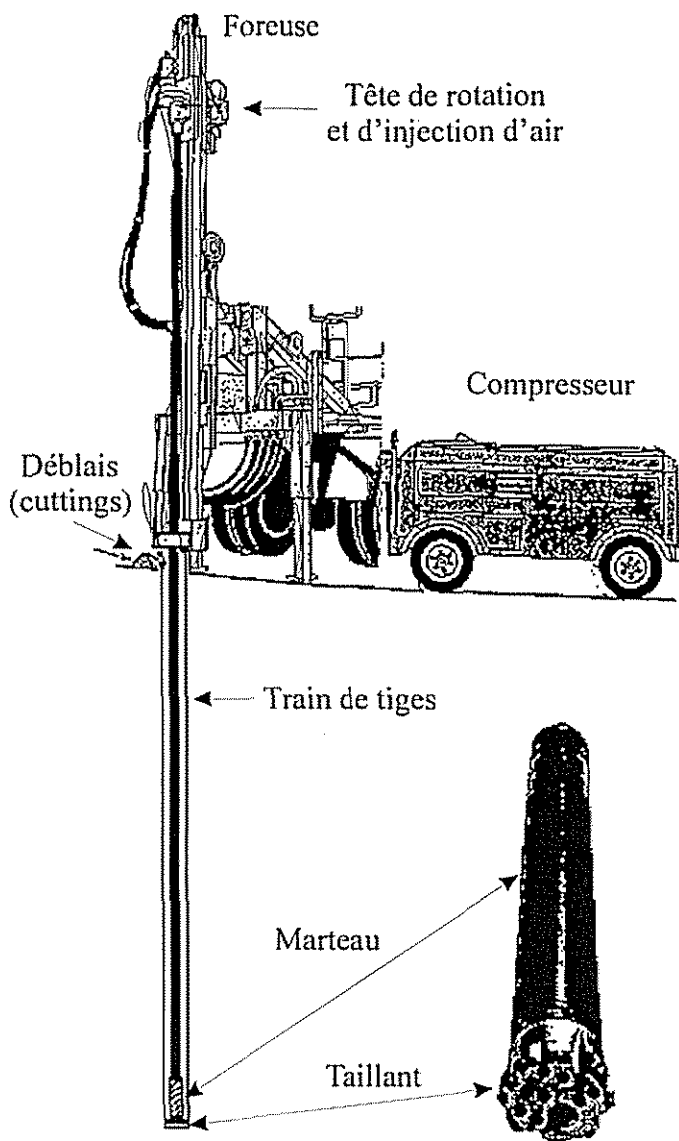


Figure 3.1. : Principe du marteau-fond-de-trou

Ce débit renseigne sur l'environnement immédiat du trou foré, et ne peut préjuger des réactions de la nappe à l'échelle locale (il diffère en cela des informations que l'on peut obtenir lors d'un essai de pompage). Il est lié à différents paramètres, qui peuvent être difficiles à maîtriser, et variables d'un point à l'autre :

- paramètres liés aux outils : diamètre du taillant, débit et pression de l'air comprimé
- paramètres liés au dispositif de pompage air-lift : hauteur de relevage, et rapport de submergence (rapport de la hauteur de la colonne d'air à celle de la colonne d'eau)
- paramètres liés à l'aquifère : forage complet ou non (horizons aquifères entièrement traversés ou non), niveau sous le sol de la surface piézométrique, perméabilité (transmissivité) de l'aquifère.

Parmi les divers paramètres énumérés, la transmissivité présente la plus grande gamme de variations, et conserve un poids majoritaire dans la valeur du débit instantané. On peut considérer que le débit instantané est représentatif de l'ordre de grandeur de la transmissivité des terrains traversés. Si les paramètres mécaniques sont voisins, le débit instantané est globalement proportionnel à la transmissivité des terrains traversés.

### **b) Débit instantané et profondeur des forages**

Il faut bien garder en tête que le débit instantané reste une approximation des potentialités aquifères, d'abord par sa méthode de mesure, et ensuite par le caractère incomplet de la plupart des forages. En effet, les forages recensés ont pour une large majorité une vocation agricole, ou d'alimentation en eau pour la maison : le forage est arrêté une fois l'objectif de débit (le plus souvent de quelques m<sup>3</sup>/h) et/ou le budget atteints. Pour la grande majorité, les forages ne traversent donc pas la totalité des horizons conducteurs, ce qui peut biaiser les résultats. Ce type de biais conduit à une sous-estimation des débits potentiels des formations aquifères.

## **3.2. PRINCIPE DE SELECTION DES ZONES**

La méthode est basée d'abord sur une analyse géologique, suivie d'une analyse statistique sur les débits instantanés des ouvrages.

### **3.2.1 Analyse de la géologie**

La géologie des terrains de socle est complexe : l'histoire géologique peut faire se côtoyer des lithologies très différentes, qui peuvent à priori ne pas présenter le même comportement hydrogéologique. La lithologie est donc un facteur déterminant pour la probabilité de trouver de l'eau.

Le premier travail consiste donc en une analyse de la lithologie, pour définir des regroupements de formations litho-hydrogéologiques homogènes. Les traitements statistiques seront alors réalisés sur ces regroupements.

### **3.2.2. Analyse statistique croisée sur les débits instantanés**

L'analyse statistique s'effectue sur le débit instantané des ouvrages (débit au soufflage déterminé lors de la foration). Elle s'appuie sur le calcul de deux paramètres :

**a) Le pourcentage de forages de débit supérieur ou égal à 10 m<sup>3</sup>/h.**

- Ce paramètre varie de façon significative : de moins de 5 % à plus de 30 % selon les formations.
- Il donne une image de la probabilité d'obtenir un forage productif dans la formation considérée. Cette probabilité pourra a priori être améliorée dans le cas de l'implantation de nouveaux forages, où des études complémentaires pourront être entreprises pour optimiser les chances de succès (analyse de la fracturation, méthodes géophysiques,...)
- Pour que ce paramètre soit significatif des forages productifs, la valeur seuil de débit a été choisie supérieure au débit moyen des forages du socle de Vendée (toutes formations confondues) qui est de 5,9 m<sup>3</sup>/h (tableau 4.1.). De plus, un débit de 10 m<sup>3</sup>/h permet de fournir un volume journalier moyen de 240 m<sup>3</sup>, et d'assurer l'alimentation en eau une commune rurale de plus de 1000 habitants. Un forage fournissant un tel débit peut donc être considéré comme réussi.

**b) Le débit moyen du quartile supérieur**

Il correspond au débit moyen des 25 % des meilleurs forages.

- Ce paramètre varie de façon significative : de moins de 10 m<sup>3</sup>/h à plus de 70 m<sup>3</sup>/h selon les formations.
- Il est indicatif des débits que peut fournir la formation. On peut considérer qu'il est représentatif des débits que l'on peut légitimement attendre de nouveaux forages, si leur implantation est optimisée par des études complémentaires.

**3.2.3. Définition des classes d'intérêt**

Pour chaque formation identifiée, un indice global est créé en multipliant les deux paramètres précédemment définis :

$$I = (\% \text{ de forages de débit supérieur à } 10 \text{ m}^3/\text{h}) \times (\text{débit moyen du quartile supérieur})$$

Cet indice permet de prendre en compte à la fois la probabilité d'obtenir des forages productifs, et le débit que l'on peut attendre de ces forages (une forte probabilité pouvant compenser un débit moyen un peu plus faible, et inversement).

Les formations sont classées en fonction de cet indice global. Des regroupements de formations par classes d'intérêt sont alors effectués en fonction de critères à définir.

Le résultat du classement par ordre d'intérêt est représenté sur un graphique avec en abscisse le pourcentage des forages de débit supérieur à 10 m<sup>3</sup>/h, et en ordonnée le débit moyen du quartile supérieur (figure 3.2.).

Pour chaque classe d'intérêt, l'amplitude des pourcentages et des débits moyens à attendre est donnée par l'écart entre les valeurs minimale et maximale de ces paramètres observées dans les formations considérées.

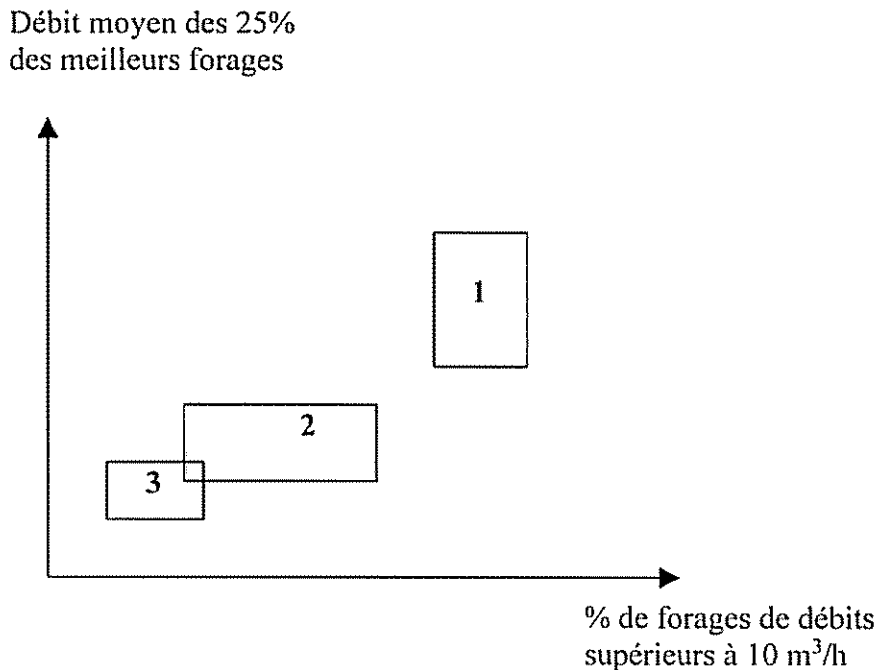


Figure 3.2. : Propriétés statistiques des formations regroupées par classes d'intérêt

### 3.3. INTERETS ET LIMITES DE LA METHODE

#### 3.3.1. Aspect probabiliste

Les méthodes statistiques sont particulièrement bien adaptées pour les études de milieux naturels, qui présentent une grande diversité de phénomènes et de comportements. Dans le principe, elles permettent de mettre en évidence des propriétés moyennes pour des populations hétérogènes.

- Les résultats statistiques n'ont de validité que si les points sont en nombre suffisant, et répartis de manière homogène dans l'espace pour que la population qu'ils composent soit représentative de la formation. Si le nombre de points est faible, la présence d'un seul forage de grand débit aura une forte influence sur l'indice global de la formation, et la fera peut-être classer "artificiellement" comme favorable.

- Les résultats probabilistes doivent être considérés comme tels : ils donnent des indications sur les chances de succès d'obtenir des forages productifs, sans toutefois les garantir.

### **3.3.2. Données de débit instantané**

#### ***a) Précision des données***

Le débit instantané (ou débit au soufflage) correspond au débit d'exhaure en cours de forage sous l'action de l'air comprimé. Il est en règle générale indiqué par le foreur sur les fiches de déclaration au titre de l'article 132 du Code Minier. Cette donnée de débit est en général la seule disponible pour les forages d'irrigation et de particuliers, qui ne font pas l'objet d'essai de pompage. C'est pourquoi elle a été choisie pour base de calcul : le nombre élevé de données permet de compenser leur éventuelle imprécision, et d'obtenir ainsi une validité statistique.

La mesure du débit instantané peut être plus ou moins précise en fonction des précautions prises en cours de forage (Talbo H., (1978)), et la valeur déclarée ensuite est fonction du foreur (approximations possibles). Même si cette donnée de débit est imparfaite, elle donne une bonne estimation de la productivité des forages. L'éventail des mesures allant de 0 à 153 m<sup>3</sup>/h, on peut estimer que les ordres de grandeur sont respectés.

#### ***b) Répartition spatiale des forages***

L'inventaire des forages a été mené sur plus de 200 communes situées dans les formations de socle. Dans la majorité des cas, les forages sont implantés près des habitations ou des exploitations agricoles. Pour une formation donnée, la répartition des forages n'est donc pas parfaitement homogène, avec des regroupements possibles par secteurs (hameaux,...). Cependant, les forages sont en général en nombre suffisamment important pour que l'on puisse considérer que les formations sont "échantillonnées" sur une portion représentative de leur surface.

Dans quelques secteurs, des forages ont été implantés de façon rapprochée spécifiquement pour la recherche d'eau (exemple de sondages de reconnaissance dans les granites de Pouzauges). La proximité des forages, et plus particulièrement de forages très productifs, peut alors fausser les statistiques. Ce cas ne concerne que quelques forages, et nous l'avons mentionné dans l'analyse.

### 3.3.3. Précision de l'analyse géologique

#### a) Echelle choisie

La définition des regroupements de lithologies pour l'analyse statistique a été effectuée à partir de la carte géologique au 1/250000<sup>ème</sup> de la Vendée établie par le BRGM (extraite de la carte géologique des Pays de la Loire). Cette échelle est bien adaptée pour définir des grands ensembles litho-hydrogéologiques homogènes. En contrepartie, elle ne permet pas une résolution très fine, ce qui peut conduire à des imprécisions quant à la classification des forages dans telle ou telle lithologie, en particulier pour ceux situés près de la frontière entre deux entités lithologiques.

#### b) Inhomogénéité des cartes géologiques en Vendée

La carte géologique au 1/250000<sup>ème</sup> a été établie sur la base des cartes géologiques au 1/50000<sup>ème</sup>. Le département de la Vendée n'est cependant pas encore entièrement cartographié à cette échelle, et il a fallu recourir sur certains secteurs aux anciennes cartes établies au 1/80000<sup>ème</sup>, et dont la précision est variable. La précision de la carte géologique au 1/250000<sup>ème</sup> est par conséquent inégale, même si elle reste satisfaisante dans l'ensemble.

#### c) Affleurements et formations sous-jacentes

Les cartes géologiques représentent la cartographie des formations à l'affleurement. Or, un affleurement n'est pas toujours représentatif de la formation sous-jacente, et dans ce cas, la classification par lithologies superficielles peut conduire à des erreurs d'attribution de forages à telle ou telle formation.

On a ainsi l'exemple des deux forages situés sur la commune de Moutiers-les-Mauxfaits, d'indice national 0585-5X-0020 et 0585-5X-0023 : sur la carte géologique au 1/250000<sup>ème</sup>, ils sont inclus dans la lithologie des schistes ardoisiers, mais la coupe géologique réalisée lors du sondage indique qu'ils traversent les granites de la Roche-sur-Yon (figure 3.3.). Ces deux forages étant de plus très proches, et très productifs (153 m<sup>3</sup>/h), une erreur d'attribution modifie profondément les résultats statistiques des formations.

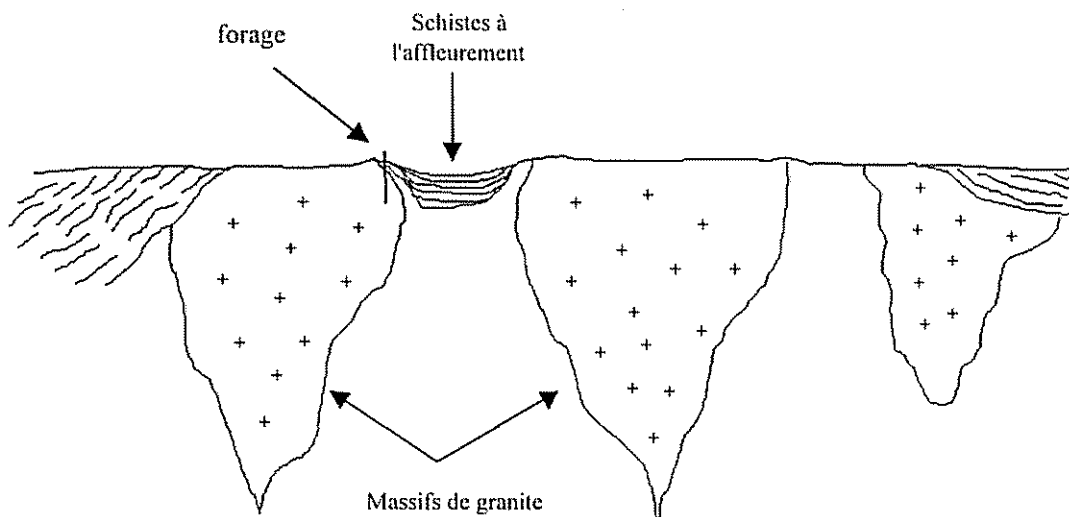


Figure 3.3. : Affleurements et massifs sous-jacents

### 3.4. BASE DE DONNEES SUR LES FORAGES DE VENDEE

#### 3.4.1. Inventaire des forages

Un inventaire des forages de Vendée situés en zone de socle a été effectué, en utilisant les différentes sources d'informations disponibles :

- La Banque de Données du Sous-Sol (BSS) du BRGM : elle est renseignée par les déclarations de forages faites au titre de l'article 132 du Code Minier. Une requête spécifique a été effectuée sur les forages du Massif Armoricaire Sud,
- Les entreprises de forage ont été contactées pour recueillir les coupes des forages non déclarés,
- Enfin, des enquêtes de terrain ont été menées directement dans les communes pour rechercher des forages.

Les enquêtes de terrain ont été effectuées par des étudiants du Lycée Agricole des Etablières de la Roche-sur-Yon, et par des techniciens du BRGM.

La répartition des forages inventoriés en fonction de la provenance de l'information d'origine est donnée dans le tableau 3.1..

Origine des informations	Nombre de points
Banque de données du Sous-Sol (BRGM)	1314
Coupes foreurs non déclarées Enquête directe dans les communes	962
<b>Nombre total de points</b>	<b>2276</b>

Tableau 3.1. : Inventaire des forages en fonction de la source d'information

### 3.4.2. Constitution de la base de données

Pour être exploitable pour l'analyse statistique, chaque point de la base de données doit au minimum posséder les renseignements suivants :

- Positionnement (X,Y) le plus précis possible
- Valeur de débit instantané

Ainsi sur les 1314 points de la BSS, seuls 367 étaient renseignés en débit. Les enquêtes de terrain ont permis de compléter partiellement les données manquantes pour les points de la BSS. Elles ont également permis de localiser les forages dont nous ne possédions que la fiche de déclaration, et d'inventorier ceux pour lesquels nous n'avions aucune information préalable. Au total, 1206 points ont fait l'objet d'une visite de terrain (figure 3.4.).

Pour constituer la base de données dans le Système d'Information Géographique Mapinfo, les forages ont été positionnés sur les fonds de cartes scannés IGN à l'échelle du 1/25000<sup>ème</sup>.

La base de données finale comporte 1207 points localisés avec précision, et renseignés en débit instantané (figure 3.5. et tableau 3.2.). Parmi ces 1207 points :

- 30 concernent la couverture tertiaire qui couvre le nord-ouest du département (figure 3.6.). La plupart de ces points proviennent de la requête effectuée sur la BSS. Faute de points en nombre suffisant, l'analyse statistique n'a pu être menée sur les petits bassins tertiaires qui recouvrent en lambeaux les formations de socle (bassin de Machecoul, bassin de Challans, bassin de Saint-Gervais). Seul un point, recensé sur la commune de Challans, concerne la bassin de Challans, et donne un débit de 3 m<sup>3</sup>/h pour une profondeur de 5,5 mètres. Pour le bassin de Saint Gervais, nous avons recensé un forage de 5,75 mètres sur la commune de Saint-Urbain, qui fournit un débit de 25 m<sup>3</sup>/h.

- 22 sont localisés dans les calcaires et marnes de la bordure nord de la couverture sédimentaire jurassique qui couvre le sud du département (figure 3.7.). Ils n'ont pas été pris en compte dans l'analyse.
- 29 sont localisés dans la couverture sédimentaire jurassique du bassin de Chantonnay (figure 3.8.). Ils ont fait l'objet d'une analyse statistique, présentée dans la partie suivante. Notons cependant que dans les formations de type sédimentaire, le débit instantané n'a pas la même validité que dans les formations de socle, du fait de la perméabilité de la roche, et de la faible profondeur des forages.
- 1126 concernent le socle proprement dit (figure 3.9.)

		Points localisés et renseignés en débit	
Points issus de la BSS qui étaient renseignés en débit	Points visités sur le terrain	Dans le bassin jurassique de Chantonnay	Dans la zone de socle
369	1206	29	1126

Tableau 3.2. : Bilan de la collecte des données pour l'analyse statistique

Lors des enquêtes de terrain, le questionnaire portait, en plus du débit instantané, sur les informations suivantes : profondeur, diamètre intérieur, date de réalisation, utilisation (alimentation humaine, alimentation du bétail, irrigation), équipement du forage (cimentation en tête, profondeur des crépines, hauteur du tubage extérieur,...).

Chaque fois que cela était possible, des mesures physiques élémentaires ont été effectuées sur les forages : profondeur de la nappe au repos (si le forage n'était pas en exploitation au moment de la mesure), pH, température, et conductivité. L'analyse de ces mesures sera présentée dans le second rapport de synthèse sur l'aspect qualitatif de la ressource.

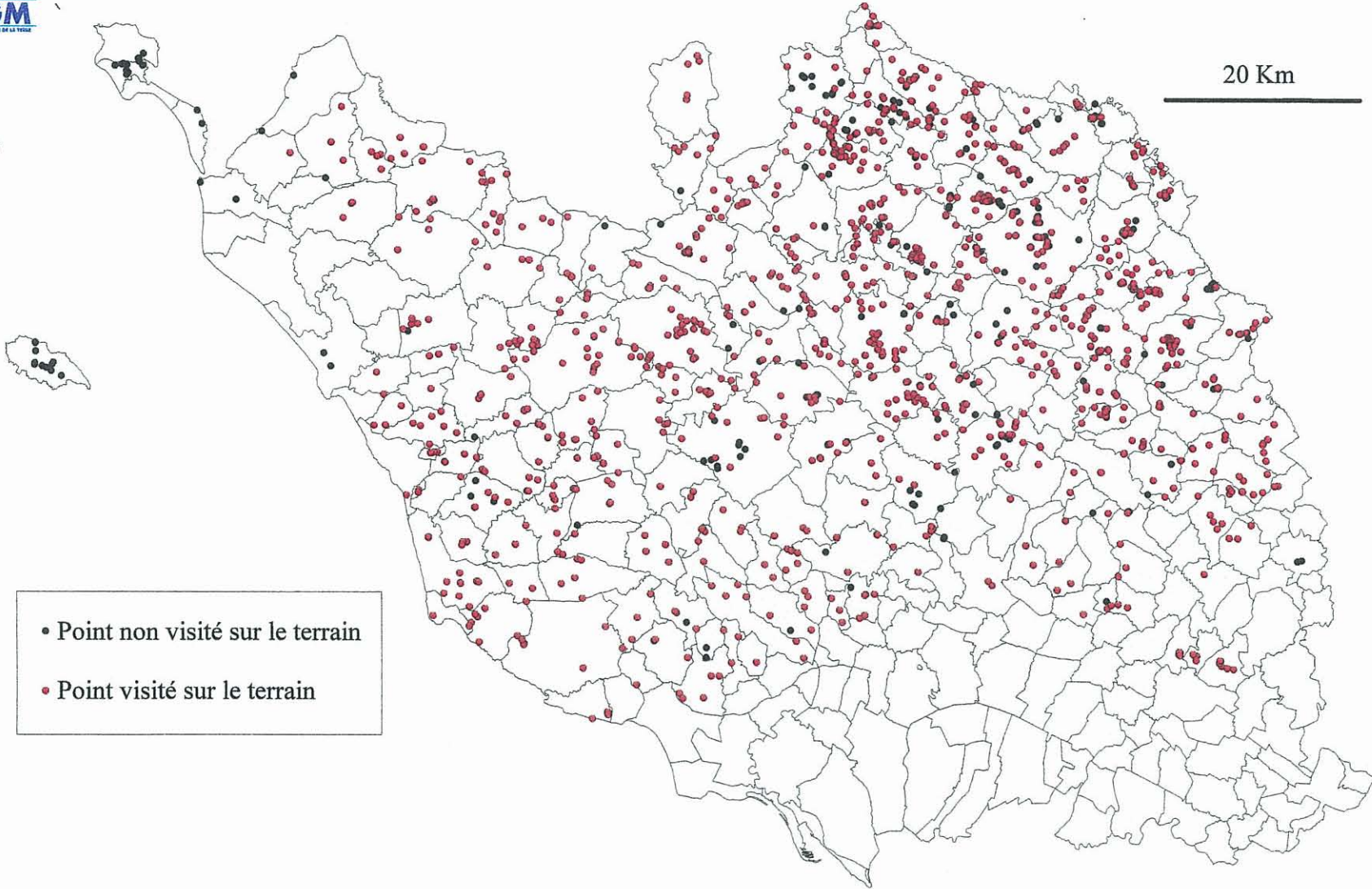
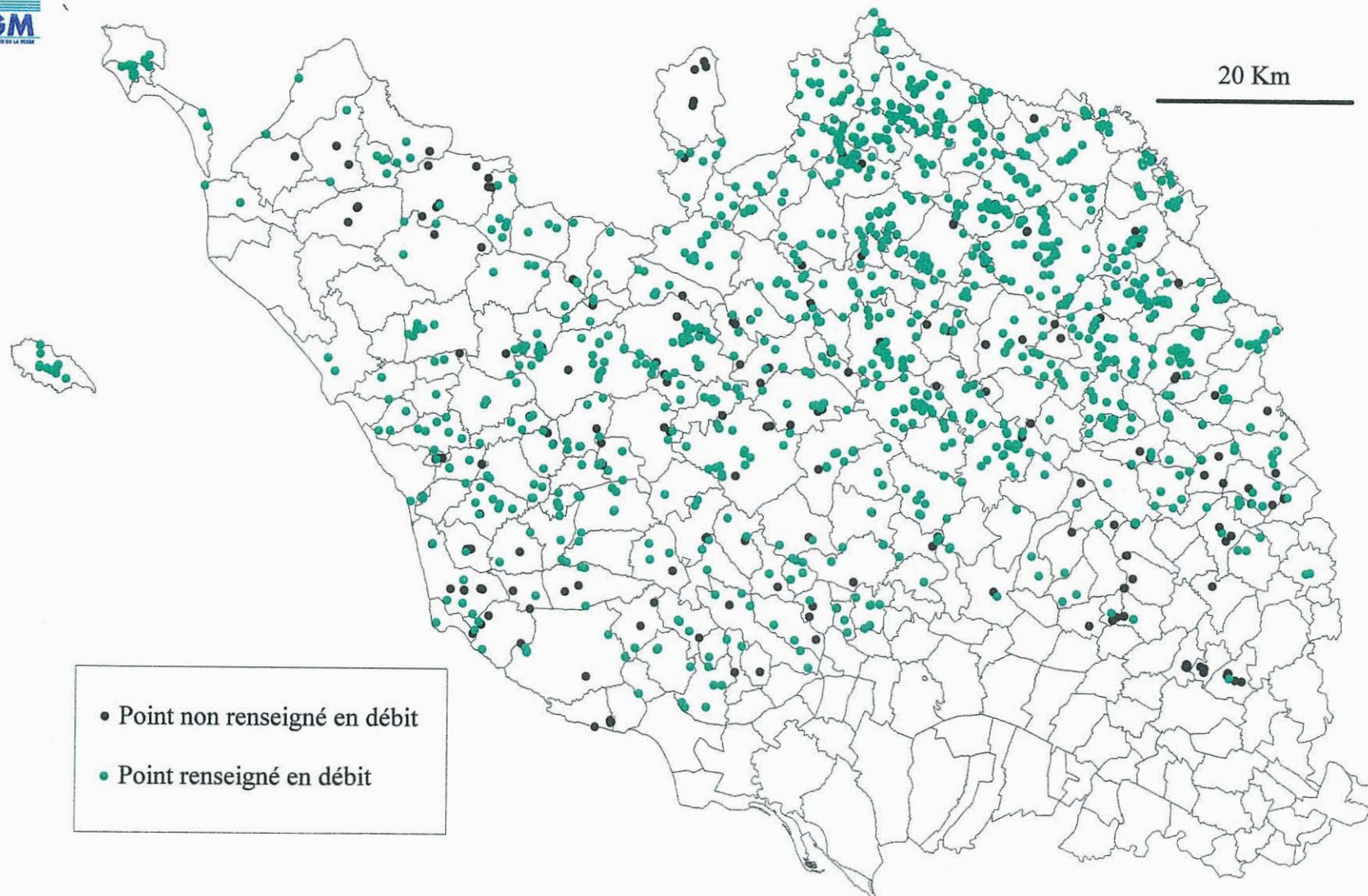
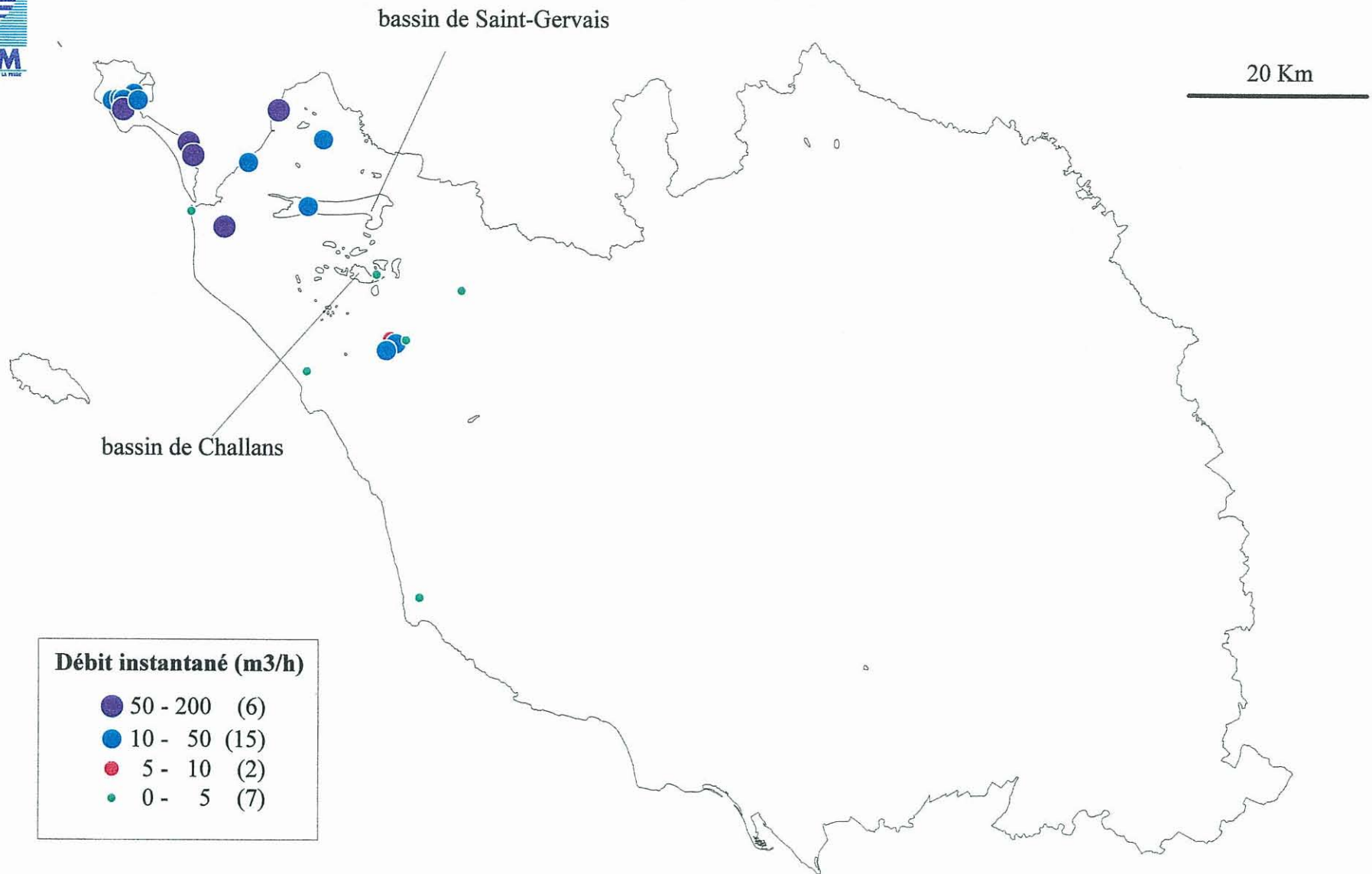


Figure 3.4. : Localisation des points ayant fait l'objet d'une visite de terrain



*Figure 3.5. : Localisation des points renseignés en débit*



*Figure 3.6. : Points localisés dans la couverture Tertiaire*



20 Km

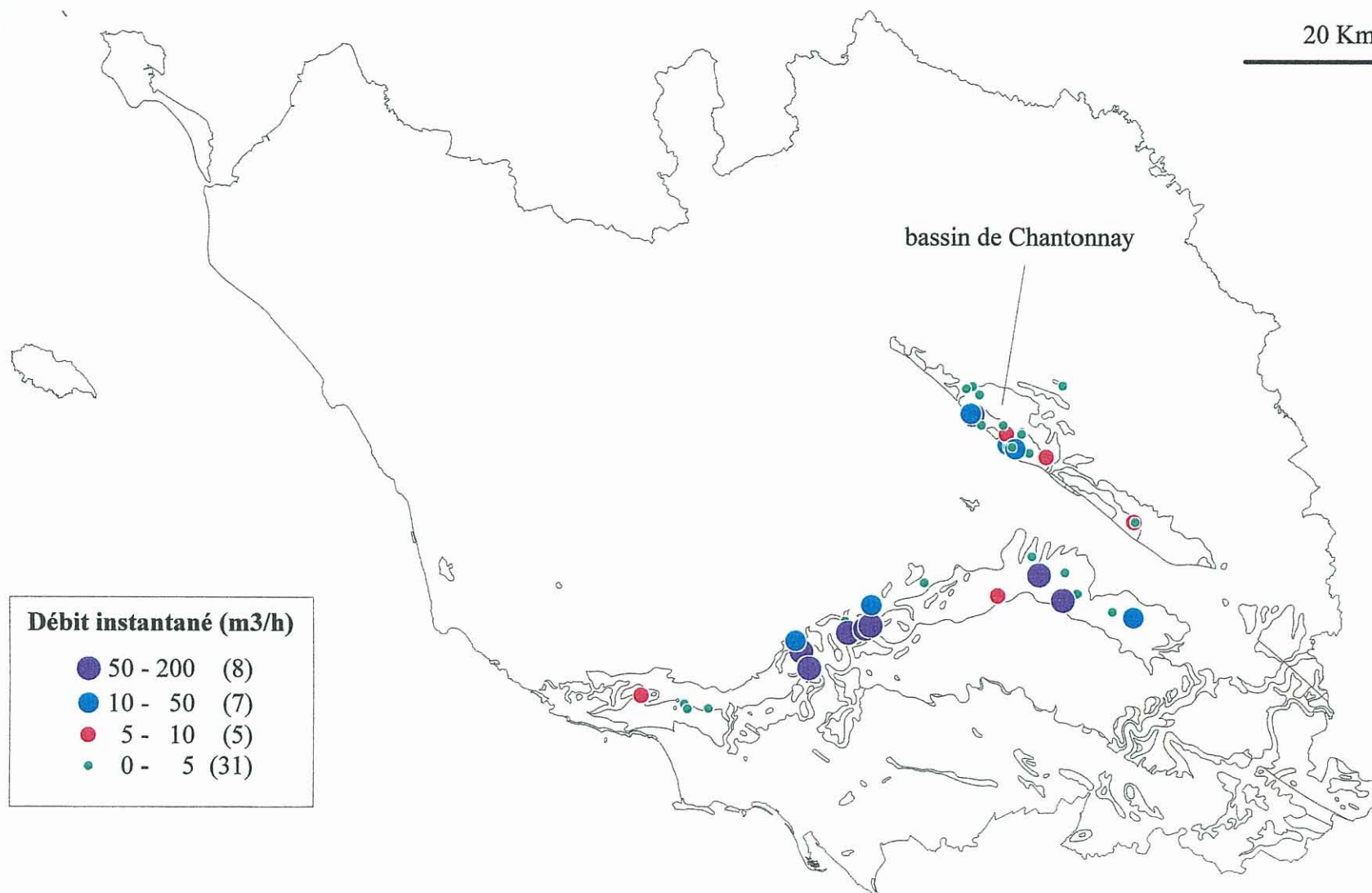
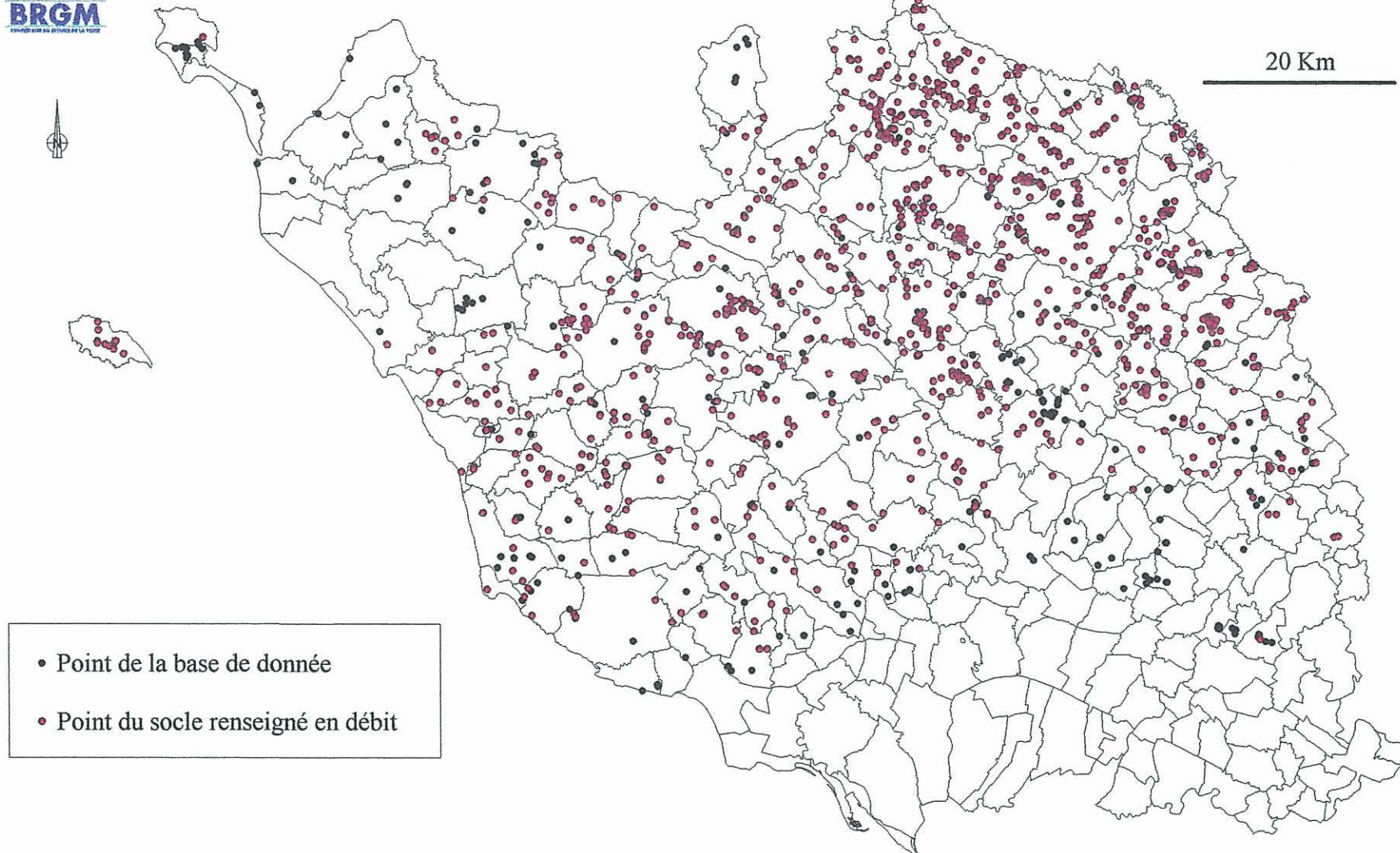


Figure 3.7. : Points localisés dans la couverture Jurassique



*Figure 3.8. : Points de la base de données localisés dans le socle et renseignés en débit*

## 4. Résultats généraux et première classification par grands types de formations

### 4.1. STATISTIQUES GENERALES SUR LE SOCLE

#### 4.1.1. Distribution statistique des débits

Le tableau suivant présente les statistiques élémentaires calculées sur les 1126 points situés sur le socle. Le coefficient de variation est calculé comme le rapport de l'écart-type par la moyenne (il est d'autant plus grand que les résultats affichent une grande variabilité). L'amplitude des débits est importante, de 0 à 153 m<sup>3</sup>/h. L'écart-type est plus de deux fois supérieur à la moyenne, signe d'une variabilité relativement importante.

Débit moyen (m <sup>3</sup> /h)	Ecart-type (m <sup>3</sup> /h)	Coefficient de variation	Débit maxi (m <sup>3</sup> /h)	Débit mini (m <sup>3</sup> /h)
5,9	13,0	2,2	153	0

Tableau 4.1. : Statistiques générales sur les débits des 1126 forages du socle

La distribution des forages en fonction de classes de débits est donnée figure 4.1..

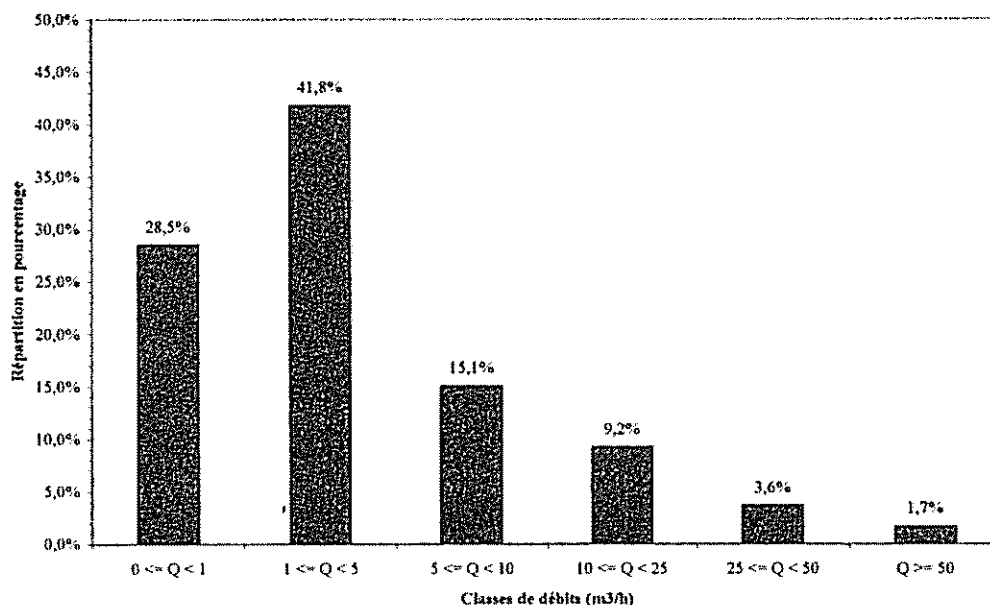


Figure 4.1. : Répartition des forages par classes de débits

- La classe la plus représentée est celle des débits compris entre 1 et 5 m<sup>3</sup>/h. Cette productivité moyenne est représentative, dans le socle, des réservoirs drainés par les réseaux de fissures connectées et ouvertes.
- Une productivité de plus de 10 m<sup>3</sup>/h dans le socle est souvent le signe de la présence d'une fracture drainante d'importance locale.
- Le pourcentage de forages de débit supérieur à 50 m<sup>3</sup>/h est faible (1,7 %), mais non négligeable. Dans les terrains de socle, les productivités très élevées qui peuvent être rencontrées ponctuellement indiquent la présence de fracture d'ampleur régionale.

L'analyse statistique présentée dans le chapitre précédent est menée sur les débits de ces 1126 forages. Les résultats sont donnés dans le tableau 4.2.. Tous forages confondus dans le socle, le débit moyen des 25 % des meilleurs forages avoisine les 20 m<sup>3</sup>/h.

% de forages de débit $\geq$ à 10 m <sup>3</sup> /h	Débit moyen des forages $\geq$ à 10 m <sup>3</sup> /h (m <sup>3</sup> /h)	Débit moyen des 25 % des meilleurs forages (m <sup>3</sup> /h)	Indice global
14,6	26,7	18,5	2,694

Tableau 4.2. : Analyse statistique croisée sur les forages du socle

#### 4.1.2. Profondeurs moyennes des forages

Le tableau 4.3. présente les résultats statistiques sur les profondeurs des 1126 forages situés dans le socle. Si la profondeur moyenne, tous ouvrages confondus, est de 47 mètres, les forages avec des débits supérieurs à 10 m<sup>3</sup>/h affichent une profondeur moyenne de 59 mètres.

Profondeur moyenne (m)	Ecart-type (m)	Profondeur maximale (m)	Profondeur moyenne des forages de débit $\geq$ 10 m <sup>3</sup> /h (m)	Profondeur moyenne des 25% des meilleurs forages (m)
47	23	173	59	55

Tableau 4.3. : Profondeurs moyennes calculées sur les 1126 forages situés dans le socle

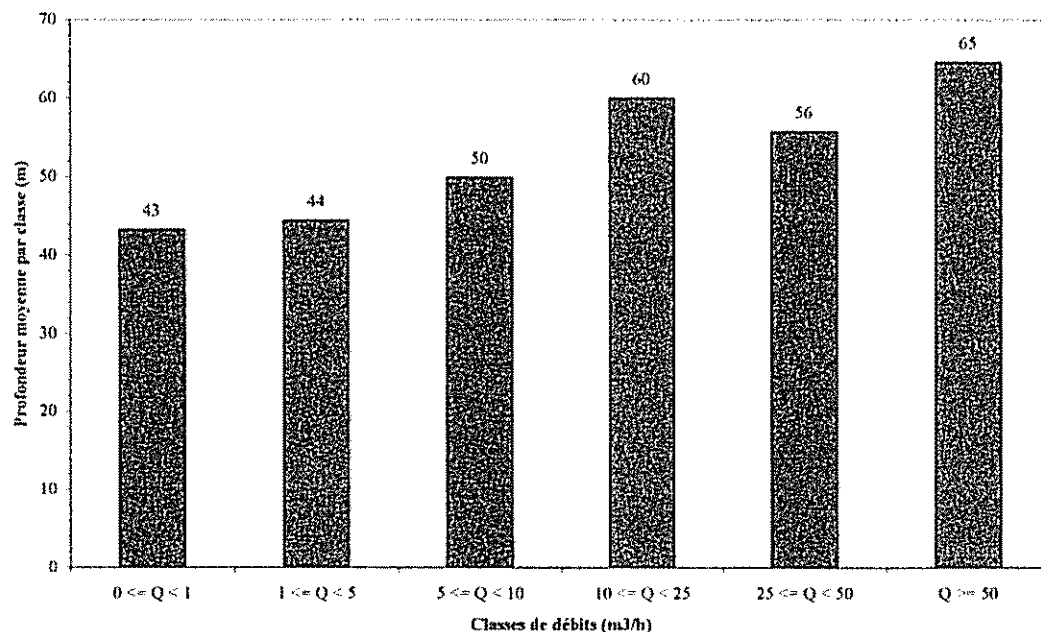


Figure 4.2. : Profondeurs moyennes des forages par classes de débit

## 4.2. PREMIERE CLASSIFICATION PAR GRANDS TYPES DE FORMATION

Après ces premières statistiques générales sur les débits des forages, toutes formations géologiques confondues, nous allons présenter les résultats d'une première classification.

### 4.2.1. Choix des différents regroupements

Pour cette première classification, nous avons défini 7 grands groupes, qui soient à la fois homogènes, et susceptibles de posséder des caractéristiques hydrodynamiques significativement différentes.

- **Méta-sédiments** : sous cette appellation sont regroupés les roches métamorphiques de type schistes et micaschistes. Avec 256 forages renseignés en débit, cette catégorie est bien représentée.
- **Granites et assimilés** : cette catégorie regroupe les différentes roches magmatiques de type granites (leucogranites, microgranites,...), ou de structure proche de celle des granites (orthogneiss et paragneiss). Nous avons inclus dans cette catégorie les cornéennes, auréole de métamorphisme de contact autour du granite de Pouzauges, car ces deux formations sont étroitement imbriquées. Avec 522 forages renseignés en débit, cette catégorie est la plus représentée en Vendée.
- **Porphyroïdes de Vendée** : cette formation du Bas-Bocage est constituée de roches magmatiques, les métavolcanites acides (cf. partie 2.2.2.).

- **Amphibolites** : ces roches magmatiques sont présentes en fines bandes dans le Bas-Bocage (cf. partie 2.2.2.), et sur le flanc nord du domaine de Chantonay (cf. partie 2.2.4.).
- **Socle sédimentaire de Chantonay** : cette appellation regroupe les grès et conglomérats du domaine de Chantonay (cf. partie 2.2.4.). Elle regroupe également certains schistes qui peuvent être considérés comme quasi-sédimentaires, car les argiles qui les constituent ont été peu métamorphisées après leur dépôt. Ceci explique qu'ils n'aient pas été regroupés dans la première catégorie des méta-sédiments. En effet, leur structure est à priori différente de celle des schistes plus fortement métamorphiques que l'on trouve en large part en dehors du domaine de Chantonay.
- **Roches volcaniques** : des séries de volcanites acides et basiques, apparaissent dans le domaine d Chantonay (cf. partie 2.2.4.).
- **Couverture jurassique du bassin de Chantonay** : elle concerne les calcaires marneux de la couverture jurassique, qui subsistent dans un bassin du domaine de Chantonay (cf. partie 2.3.1.).

Les différentes lithologies concernées par les regroupements précédents sont indiquées dans le tableau 4.4..

Grand type de formation	Lithologies concernées
Méta-sédiments	- schistes - micaschistes
Granites et assimilés	- granites, leucogranites - microgranites, monzogranites - orthogneiss - paragneiss - cornéennes du granite de Pouzauges
Porphyroïdes de Vendée	- métavolcanites acides
Amphibolites	- amphibolites - leptynites, prasinites
Socle sédimentaire de Chantonay	- conglomérats, arkoses - grauwackes - grès - schistes peu métamorphisés
Roches volcaniques	- andésites, basaltes, rhyolites - tufs acides, tufs basiques - volcanites acides, volcanites basiques
Couverture jurassique du bassin de Chantonay	- argiles, sables et calcaires gréseux - calcaires argileux ou graveleux

Tableau 4.4. : Différents regroupements avec les lithologies concernées

#### 4.2.2. Distribution statistique des débits

Les statistiques générales sur les débits par formation sont données dans le tableau 4.5.. Exceptées les amphibolites, toutes les formations présentent des débits instantanés supérieurs ou égaux à 50 m<sup>3</sup>/h. Le maximum de 153 m<sup>3</sup>/h est observé dans le massif de granite de la Roche-sur-Yon.

La formation des roches volcaniques mérite un traitement statistique particulier. En effet, cette formation comporte assez peu de points (21), et seulement deux de débit supérieur à 10 m<sup>3</sup>/h, dont le maximum à 100 m<sup>3</sup>/h situé sur la commune des Essarts. Ce fort débit nous paraît être plus représentatif de la présence de failles productives que de la formation en elle-même. Du fait du petit nombre de points inclus dans la formation, la présence de ce débit modifie les résultats statistiques de façon importante, notamment le débit moyen (cf. la comparaison en incluant ou non cette valeur dans le tableau 4.5.), et le pourcentage de forages de débit supérieurs à 10 m<sup>3</sup>/h.

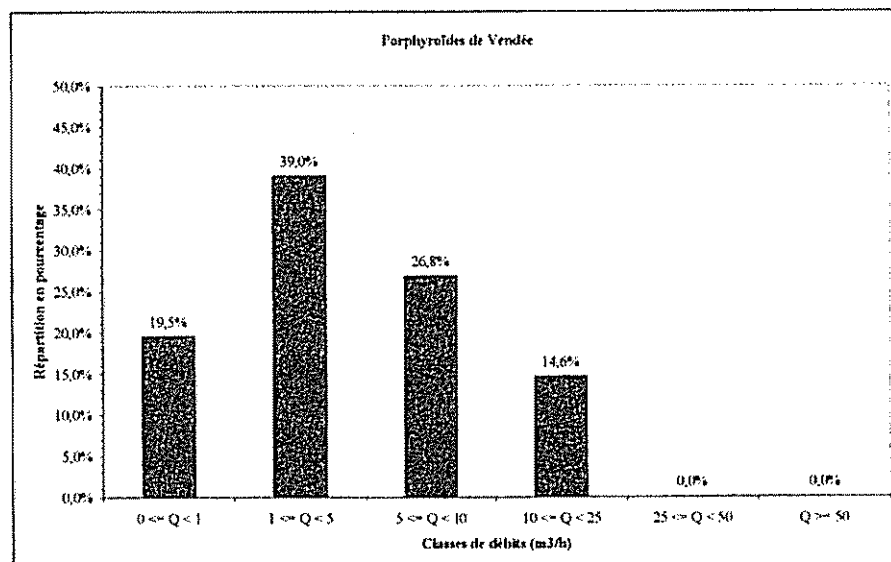
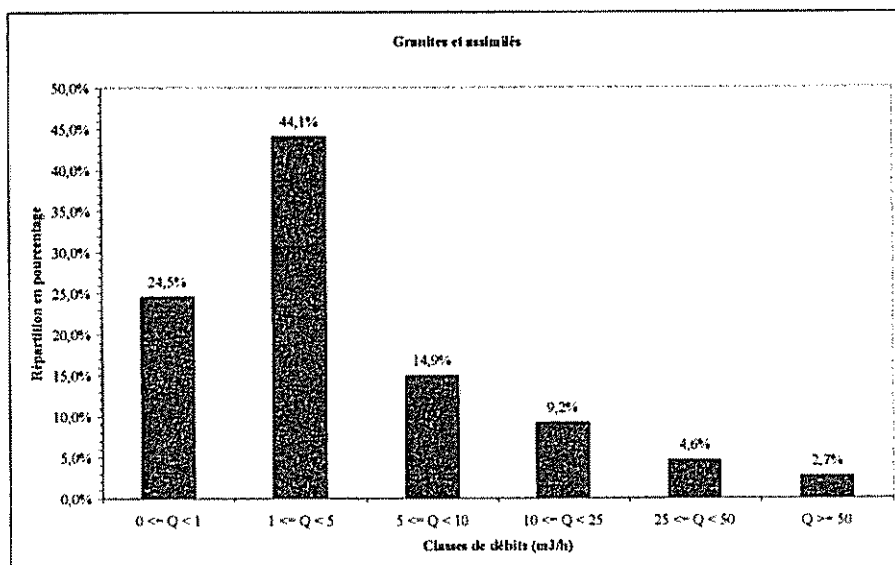
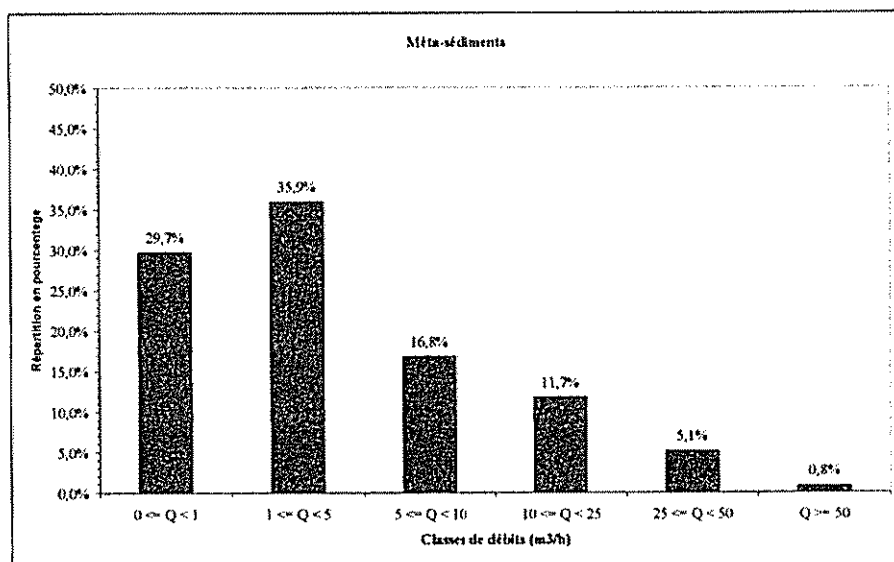
Cette forte valeur a une influence importante sur les résultats l'analyse statistique croisée, et la formation des roches volcaniques se retrouvait sur-cotée dans le classement des formations par ordre d'intérêt. Nous avons donc préféré ne pas inclure cette valeur de 100 m<sup>3</sup>/h dans l'analyse. En revanche, elle est prise en compte dans la répartition statistique des forages par classes de débits (figure 4.3.), pour indication.

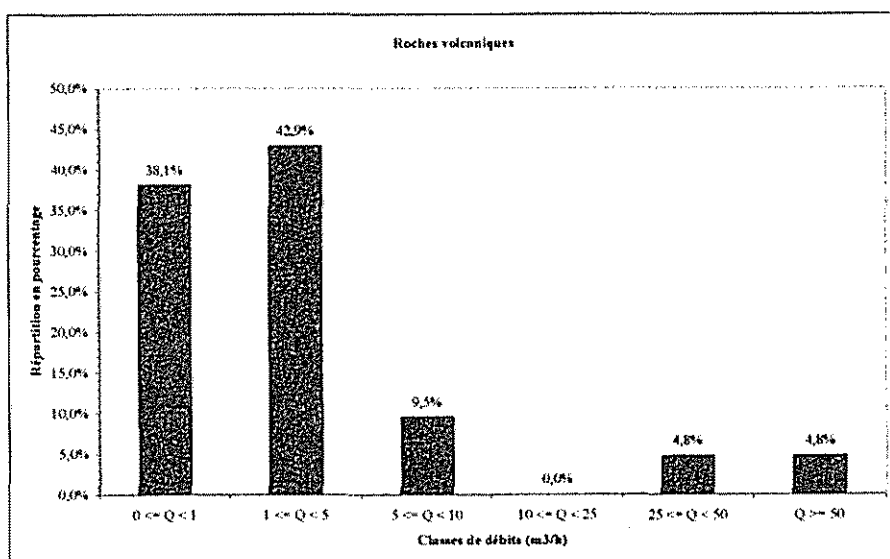
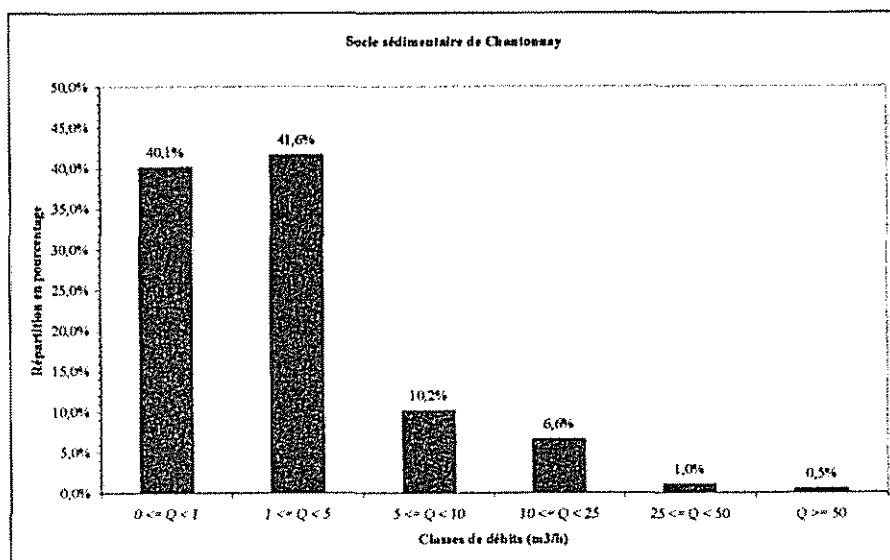
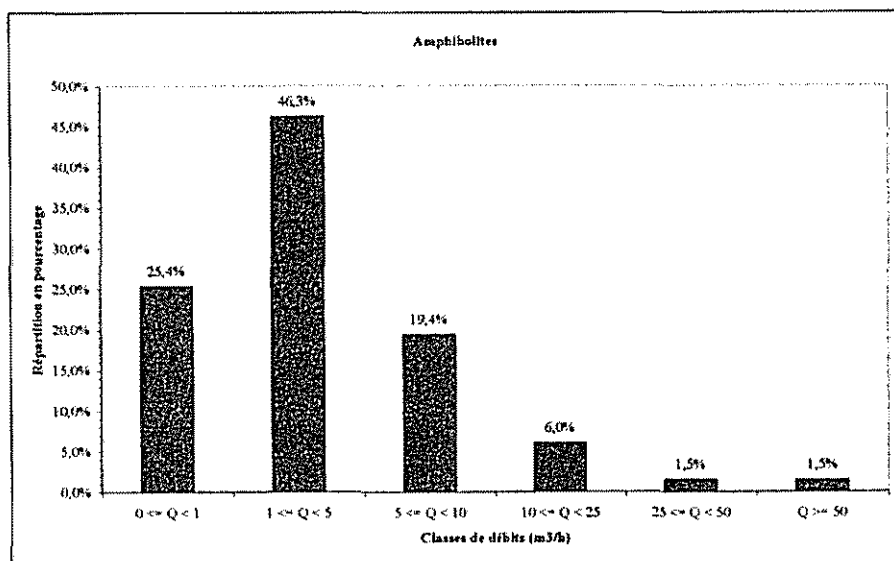
Le débit moyen des formations de types "granites et assimilés" (7,2 m<sup>3</sup>/h) est supérieur à celui du socle général, toutes formations confondues (5,9 m<sup>3</sup>/h).

Formation	Nombre de points	Débit maxi (m <sup>3</sup> /h)	Débit mini (m <sup>3</sup> /h)	Débit moyen (m <sup>3</sup> /h)	Ecart-type (m <sup>3</sup> /h)	Coef. de variation
granites et assimilés	522	153,0	0,0	7,2	16,5	2,3
méta-sédiments	256	72,0	0,0	5,9	9,6	1,6
couverture jurassique du Bassin de Chantonnay	29	80,0	0,0	5,9	15,0	2,5
porphyroïdes de Vendée	41	17,8	0,0	4,4	4,2	1,0
amphibolites	67	50,0	0,0	4,4	7,2	1,6
socle sédimentaire de Chantonnay	197	62,5	0,0	3,4	6,3	1,9
roches volcaniques	20	30,0	0,1	3,2	6,5	2,0

Tableau 4.5. : Statistiques générales sur les débits par formation

Les figures 4.3. montrent la distribution statistique des forages par classes de débits pour les différentes formations. Ces répartitions font apparaître que la catégorie des forages de débit compris entre 1 à 5 m<sup>3</sup>/h, est la plus représentée sur toutes les formations.





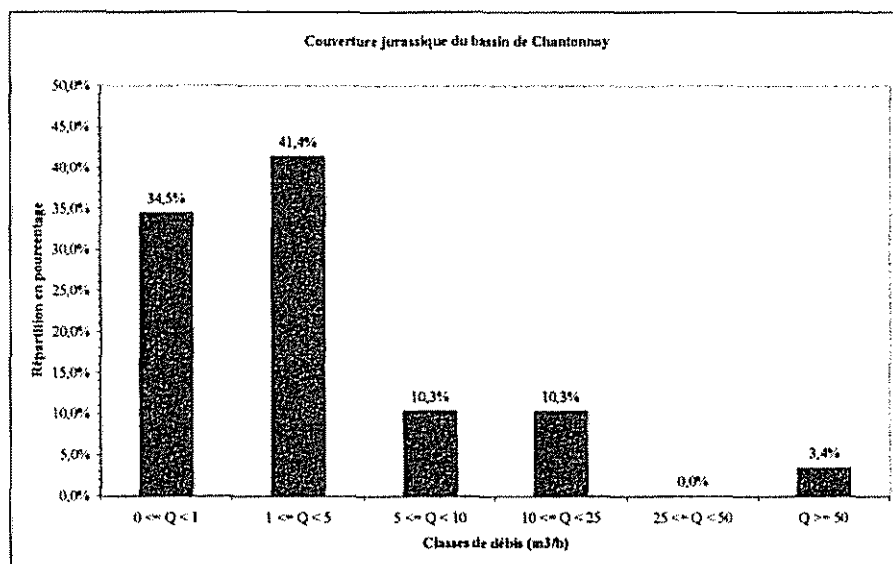


Figure 4.3. : Répartition des forages par classes de débits pour les différentes formations

#### 4.2.3. Analyse statistique croisée sur les débits instantanés

L'analyse statistique croisée sur le pourcentage de forages de débit supérieur à 10 m<sup>3</sup>/h, et le débit moyen du quartile supérieur est menée pour les 7 formations. Elles sont alors classées par ordre d'indice global (obtenu par multiplication des deux paramètres précédents) décroissant. Les résultats en sont donnés dans le tableau 4.6.. Pour comparaison, nous avons fait figurer les résultats de l'analyse obtenus pour les forages du socle, toutes formations confondues.

Formation	Nombre de points	Profondeur moyenne (m)	% de forages de débit ≥ 10 m <sup>3</sup> /h	Débit moyen des forages ≥ 10 m <sup>3</sup> /h (m <sup>3</sup> /h)	Débit moyen des 25% des meilleurs forages (m <sup>3</sup> /h)	Indice global
granites et assimilés	522	48	16,5%	31,4	23,2	3,814
méta-sédiments	256	51	17,6%	22,5	18,0	3,161
couverture jurassique du Bassin de Chantonnay	29	37	13,8%	30,8	20,5	2,821
porphyroïdes de Vendée	41	61	14,6%	12,3	10,4	1,519
amphibolites	67	39	9,0%	21,3	12,0	1,073
socle sédimentaire de Chantonnay	197	41	8,1%	19,4	10,1	0,817
roches volcaniques	20	35	5,0%	30,0	9,5	0,473
socle général	1126	47	14,6%	26,7	18,5	2,692

Tableau 4.6. : Analyse statistique croisée sur les débits instantanés par grands types de formations

L'indice global varie de façon significative de moins de 0,5 à plus de 3,8.

- La catégorie des granites et assimilés arrive en tête avec 16,5% de forages de débits supérieur à 10 m<sup>3</sup>/h, et un débit moyen du quartile supérieur de 23,2 m<sup>3</sup>/h.
- La catégorie des méta-sédiments donne des résultats voisins, avec un pourcentage un peu plus fort (17,6%), et un débit moyen un peu plus faible (18 m<sup>3</sup>/h).
- Pour les porphyroïdes de Vendée, les amphibolites et le socle sédimentaire de Chantonmay, le pourcentage reste voisin de 10%, et le débit moyen des 25% des meilleurs forages est supérieur à 10 m<sup>3</sup>/h.
- Enfin, les roches volcaniques arrivent en dernière position, avec 5%, et 9,5 m<sup>3</sup>/h. Il faut cependant rappeler que cette catégorie regroupe peu de points (20), et que nous n'avons volontairement pas tenu compte du débit de 100 m<sup>3</sup>/h dans l'analyse statistique.

Pour toutes ces formations, on peut constater que le débit moyen du quartile supérieur est proche ou supérieur à 10 m<sup>3</sup>/h.  
Les résultats du tableau sont illustrés figure 4.4..

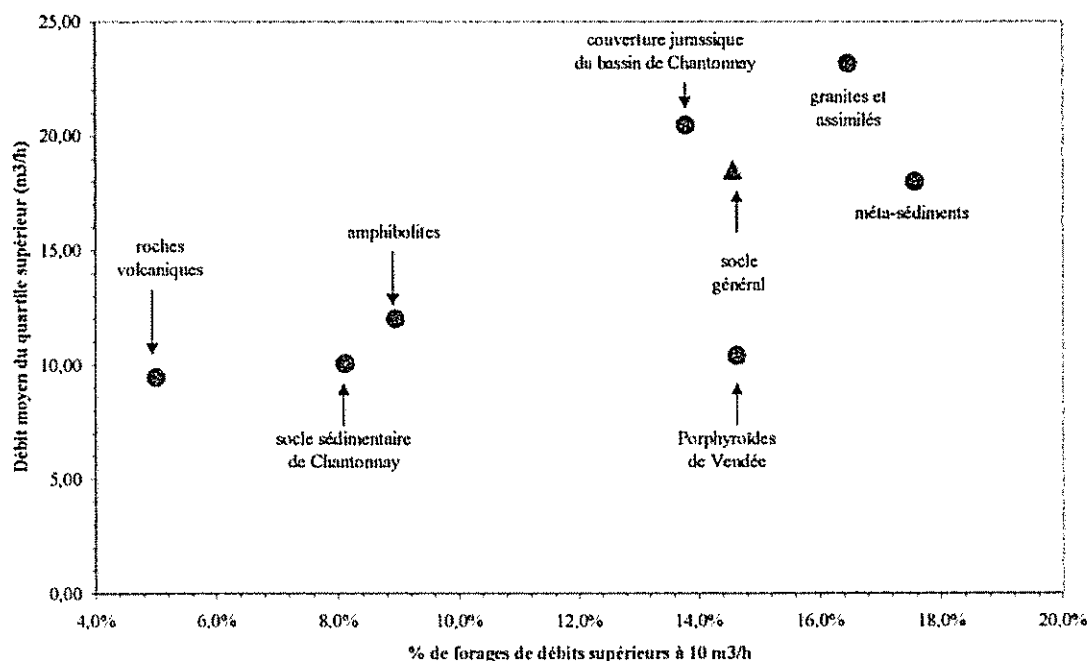


Figure 4.4. : Résultats de l'analyse statistique croisée sur les débits instantanés par grands types de formations

#### 4.2.4. Profondeurs moyennes des forages

Le tableau suivant présente les profondeurs moyennes et maximale par formations, ainsi que la profondeur du forage de plus grand débit.

Formation	Nombre de points	Profondeur moyenne (m)	Ecart-type profondeur (m)	Profondeur maximale (m)	Profondeur du forage de débit max (m)
granites et assimilés	522	48	23	160	100
méta-sédiments	256	51	23	160	70
couverture jurassique du Bassin de Chantonnay	29	37	19	100	10
porphyroïdes de Vendée	41	61	30	173	77
amphibolites	67	39	22	128	79
socle sédimentaire de Chantonnay	197	41	17	106	15
roches volcaniques	20	35	20	77	20

Tableau 4.7. : Statistiques sur les profondeurs par grands types de formations

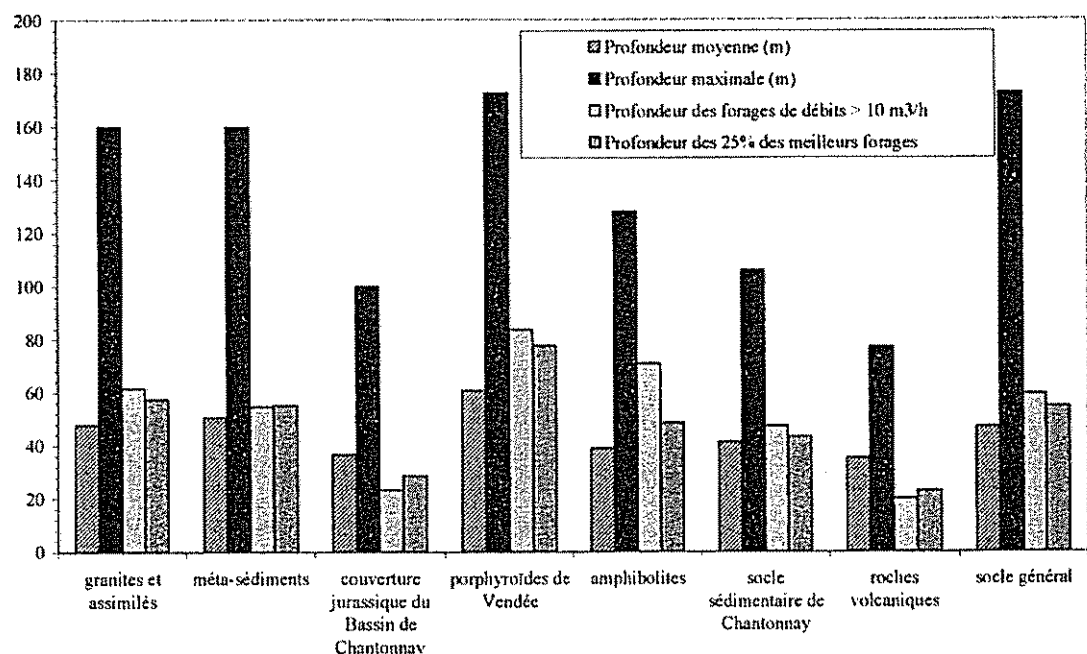


Figure 4.5. : Profondeurs moyennes des forages par grands types de formation

En moyenne, débits et profondeurs des forages évoluent dans le même sens : plus les forages sont profonds, plus la probabilité de traverser des zones transmissives qui permettront de drainer les réservoirs superficiels augmente. La relation entre débit et profondeur n'est cependant pas directe, et ce pour différentes raisons :

- La transmissivité de la zone fissurée dépend à la fois de la connexion et de l'ouverture des fissures. Or le taux d'ouverture des fissures a tendance à diminuer avec la profondeur.
- De plus, les débits les plus importants indiquent généralement que le forage capte une fracture d'importance locale ou régionale.
- Enfin, nous avons signalé dans la partie 3.1.2. que la profondeur des forages est un paramètre statistique qui peut être biaisé, puisque les forages sont le plus souvent arrêtés une fois l'objectif de débit atteint. Et à l'inverse, parmi les forages les plus profonds, certains ont été implantés spécifiquement pour la recherche en eau, avec étude géophysique préalable pour optimiser les chances d'avoir un forage productif.

#### 4.2.5. Débits linéaires moyens

Pour indication, nous avons calculé un débit linéaire, en divisant le débit instantané par la profondeur des forages :

$$\text{Débit linéaire estimé} = \frac{\text{débit instantané}}{\text{profondeur}}, \text{ exprimé en m}^3/\text{h/m (ou en m}^2/\text{s)}$$

Ce paramètre permet de donner une indication de la productivité des forages par mètre foré (sachant que nous avons divisé par la profondeur du forage et non par la hauteur d'eau). Il a la dimension d'une transmissivité. Il ne doit cependant pas être assimilé au débit spécifique qui est calculé lors d'un essai de pompage.

Formation	Nombre de points	Débit linéaire moyen		Débit linéaire des forages de débits $\geq 10 \text{ m}^3/\text{h}$		Débit linéaire des 25% des meilleurs forages	
		( $\text{m}^3/\text{h/m}$ )	( $\text{m}^2/\text{s}$ )	( $\text{m}^3/\text{h/m}$ )	( $\text{m}^2/\text{s}$ )	( $\text{m}^3/\text{h/m}$ )	( $\text{m}^2/\text{s}$ )
granites et assimilés	522	0,159	4,42E-05	0,616	1,71E-04	0,471	1,31E-04
méta-sédiments	256	0,135	3,74E-05	0,508	1,41E-04	0,406	1,13E-04
couverture jurassique du Bassin de Chantonnay	29	0,424	1,18E-04	2,680	7,44E-04	1,607	4,46E-04
porphyroïdes de Vendée	41	0,074	2,06E-05	0,175	4,87E-05	0,154	4,27E-05
amphibolites	67	0,115	3,19E-05	0,354	9,82E-05	0,263	7,30E-05
socle sédimentaire de Chantonnay	197	0,104	2,89E-05	0,657	1,82E-04	0,322	8,94E-05
roches volcaniques	20	0,157	4,36E-05	1,500	4,17E-04	0,465	1,29E-04
socle général	1126	0,139	3,85E-05	0,571	1,59E-04	0,407	1,13E-04

Tableau 4.8. : Débits linéaires moyens par grands types de formations

Pour les formations de socle, le débit linéaire suit globalement la même tendance que le débit moyen. Il est notablement moins important que celui de la couverture jurassique du bassin de Chantonay.

#### **4.2.6. Répartition spatiale des débits par grands types de formation**

La répartition spatiale des débits dans les différentes catégories est donnée sur les figures 4.6. à 4.11.

- Dans la catégorie des granites et assimilés, la répartition spatiale des débits fait apparaître que les orthogneiss et paragneiss (figure 4.6.), sont globalement moins productifs que les granites. De même que pour les méta-sédiments, cette catégorie pourra être découpée en sous-unités.
- Dans la série des méta-sédiments, (figure 4.7), la répartition spatiale des débits n'est pas homogène. Cette série étant présente sur plusieurs domaines du socle, elle sera découpée en unités plus petites pour affiner la classification. Les résultats font l'objet du chapitre 5.
- Avec la présence de forages de débits supérieurs à 10 m<sup>3</sup>/h, la série des Porphyroïdes de Vendée (figure 4.8) semble plus productive dans sa partie nord-est. Cette série constituant une unité à part entière, localisée dans le domaine du Bas-Bocage, elle n'a pas lieu d'être découpée en sous-unités plus petites.
- La catégorie des amphibolites est répartie sur les trois domaines du Bas-Bocage, des Essarts, et de Chantonay (figure 4.9). Elle fera l'objet d'un découpage en trois sous-unités.
- Au seul vu de la répartition spatiale des débits (figure 4.10), la catégorie du socle sédimentaire de Chantonay apparaît relativement homogène. Un découpage par groupes sera effectué pour faire apparaître une éventuelle hiérarchisation des résultats de débits.
- Enfin la répartition des débits dans les roches volcaniques (figure 4.11) fait apparaître qu'en dehors des deux forages très productifs isolés (100 m<sup>3</sup>/h sur la commune des Essarts, et 30 m<sup>3</sup>/h sur celle de La Tardière), les débits restent inférieurs à 10 m<sup>3</sup>/h. Sous l'appellation roches volcaniques sont rangées les deux lithologies volcanites acides, et volcanites basiques. La structure de ces roches est la même, donc la distinction en sous-unités hydrogéologiques ne se justifie pas. En revanche, la distinction pourra être effectuée du point de vue de la chimie des eaux, dans l'analyse qualitative de la ressource.

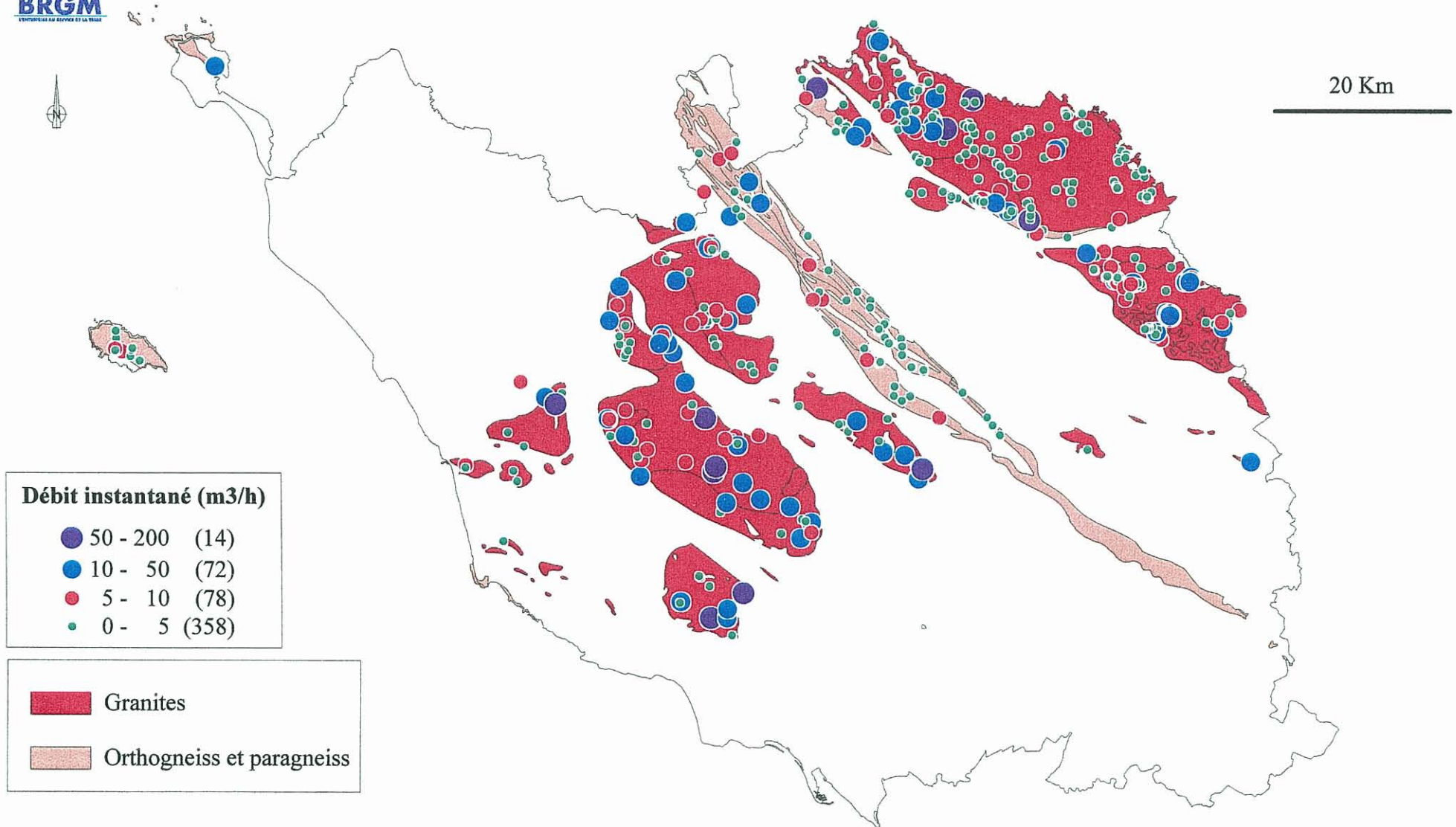
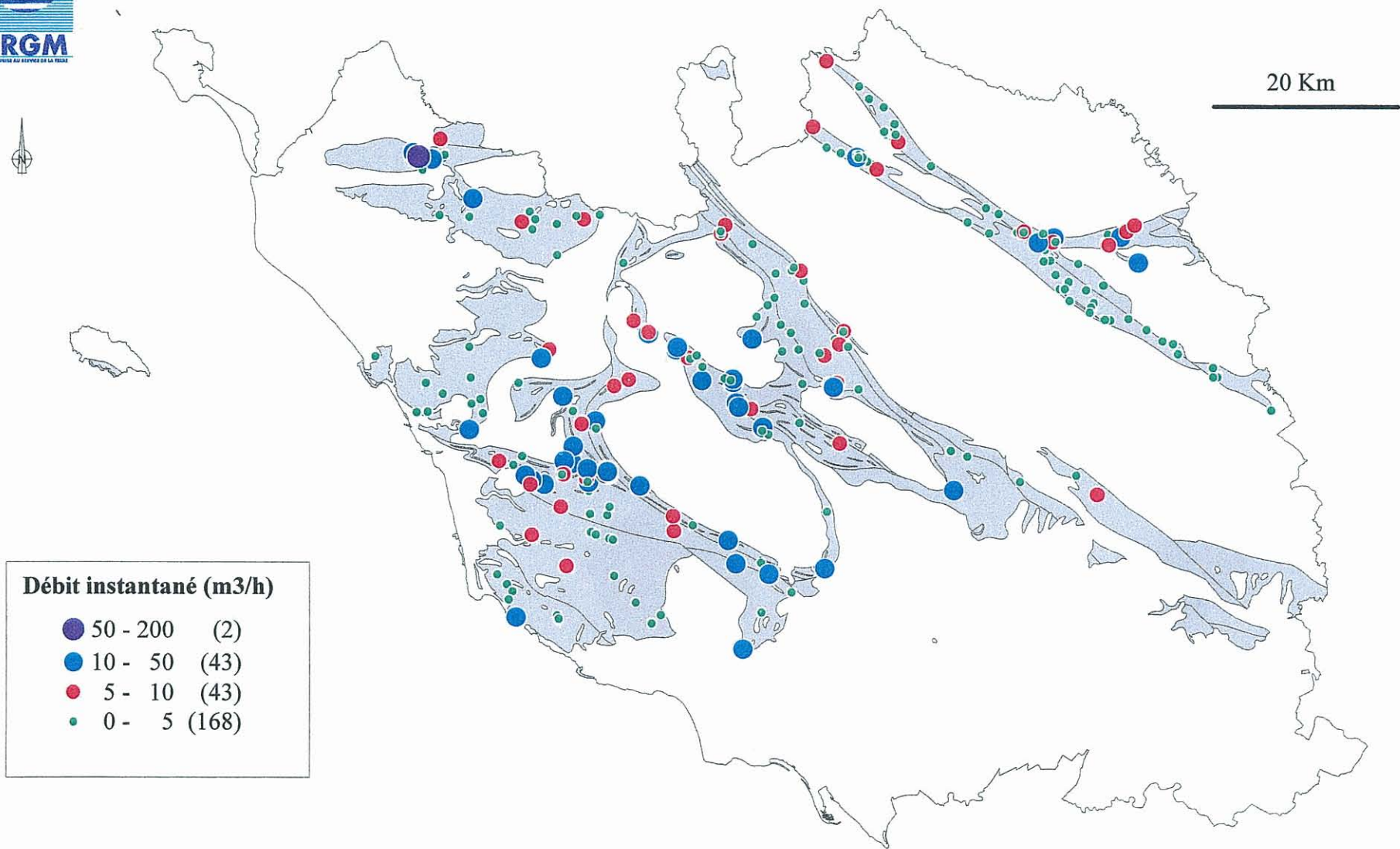
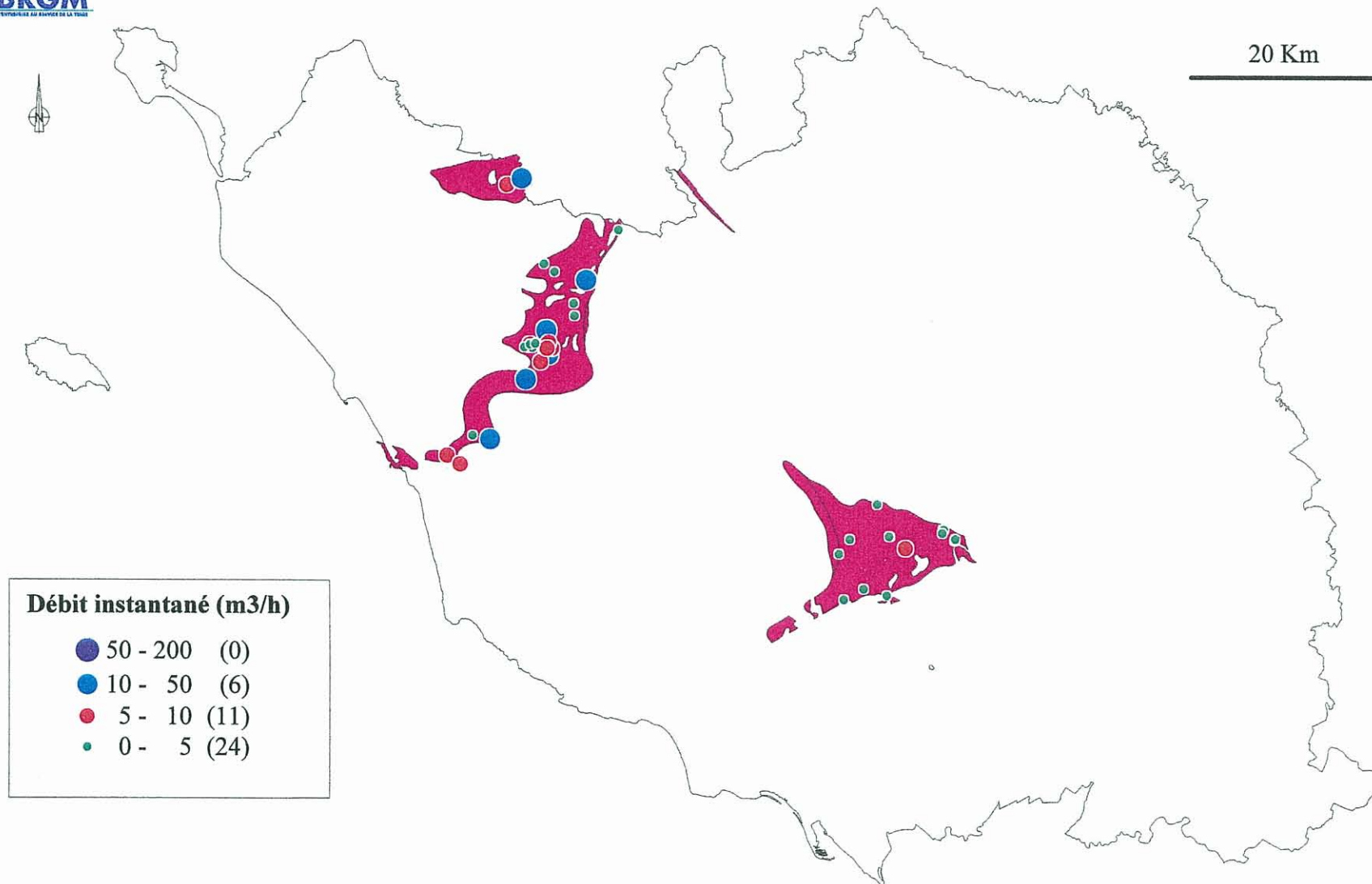


Figure 4.6. : Répartition spatiale des débits dans les granites et assimilés



*Figure 4.7. : Répartition spatiale des débits dans les méta-sédiments*



*Figure 4.8. : Répartition spatiale des débits dans les porphyroïdes de Vendée*



20 Km

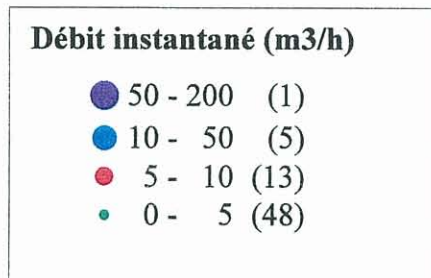
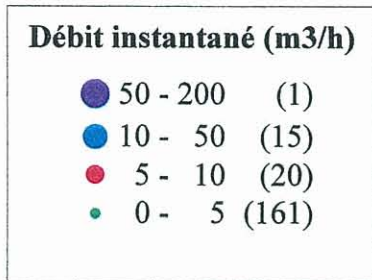


Figure 4.9. : Répartition spatiale des débits dans les amphibolites



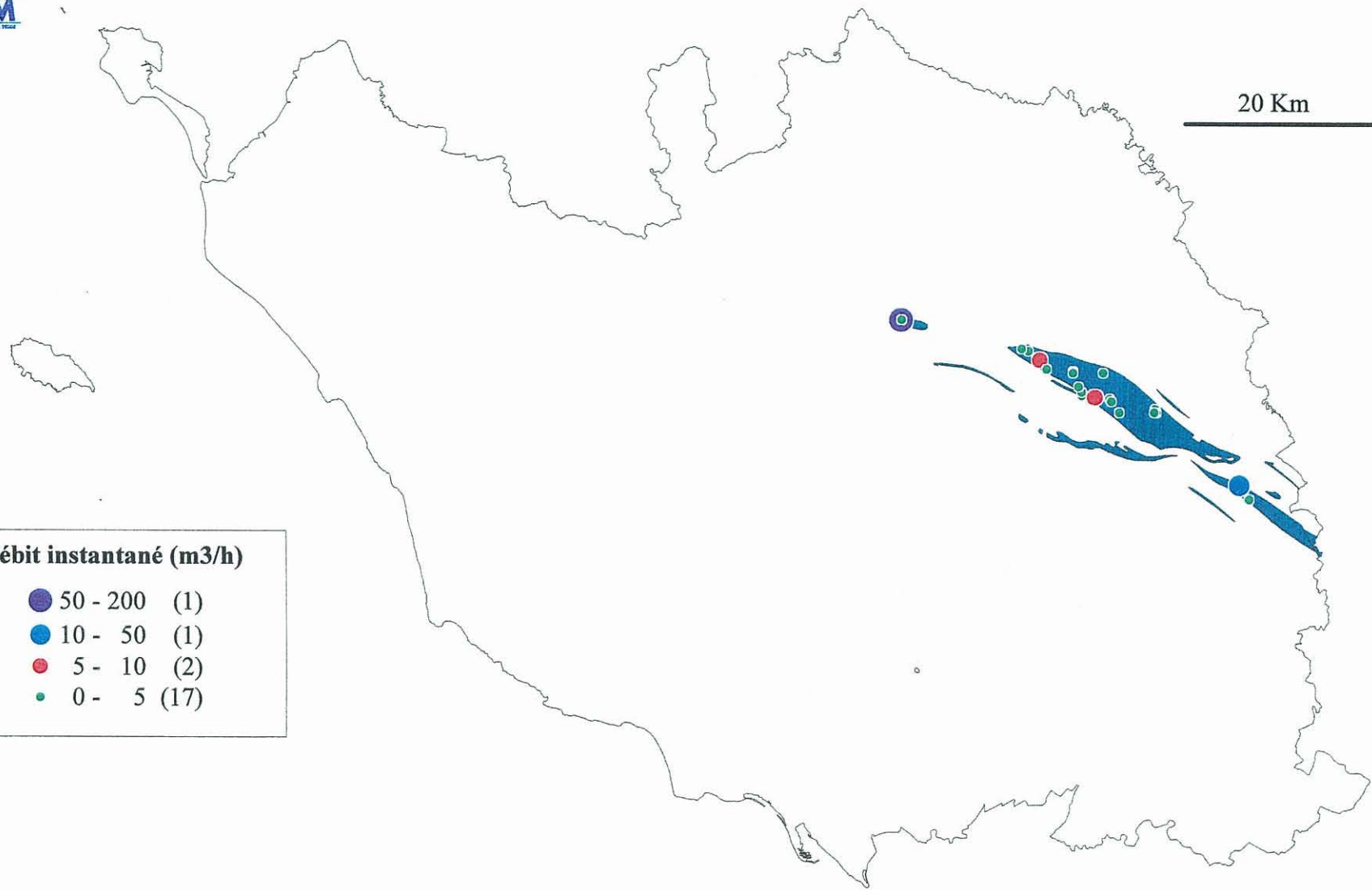
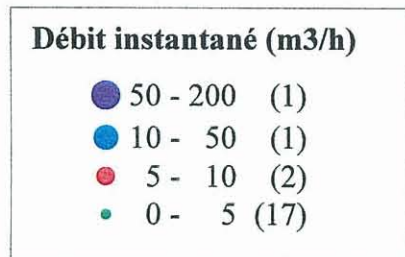
20 Km



*Figure 4.10. : Répartition spatiale des débits dans le socle sédimentaire de Chantonnay*



20 Km



*Figure 4.11. : Répartition spatiale des débits dans les roches volcaniques*

## 5. Deuxième classification : par lithologies et unités

### 5.1. ANALYSE STATISTIQUE CROISEE SUR LES SOUS-UNITES

#### 5.1.1. Critères de découpage

A l'intérieur des grands regroupements de formations de socles présentés dans la partie 4, nous avons défini des regroupements plus petits pour permettre d'affiner les résultats de l'analyse statistique croisée et faire ainsi apparaître des zones potentiellement plus favorables pour la ressource en eau.

Les regroupements ont été dictés par l'analyse lithologique : il s'agissait de définir des unités hydrogéologiques à priori homogènes. Nous avons respecté la répartition par domaines : ainsi les sous-groupes définis ne devaient pas se retrouver à cheval sur plusieurs domaines.

Les porphyroïdes de Vendée, situées dans le domaine du Bas-Bocage, et les roches volcaniques du domaine de Chantonnay, constituent des formations homogènes. Elles n'ont donc pas fait l'objet d'un découpage.

Le sous-découpage a concerné les grand types de formations de socle suivantes :

- Méta-sédiments
- Granites et assimilés
- Amphibolites
- Socle sédimentaire de Chantonnay

#### 5.1.2. Résultats du découpage pour les méta-sédiments

##### *a) Les sous-unités considérées*

7 sous-unités ont été définies pour la catégorie des schistes et micaschistes, réparties dans les domaines de la Roche-sur-Yon, du Bas-Bocage, de Chantonnay et du Haut-Bocage (tableau 5.1. et figure 5.1.).

Lithologie et unités	Domaine	Nombre de points	Débit maxi (m <sup>3</sup> /h)	Débit moyen (m <sup>3</sup> /h)	Profondeur moyenne (m)
micaschistes du gp de Nieu-le-Dolent	La Roche-sur-Yon	46	40,0	9,1	50
schistes noirs du gp de Nieu-le-Dolent	La Roche-sur-Yon	51	72,0	9,1	53
schistes et micaschistes de Saint-Gilles	Bas-Bocage	44	60,0	5,1	61
micaschistes du gp des Sables d'Olonne	La Roche-sur-Yon	8	30,0	5,2	45
schistes ardoisiers, quartzites	La Roche-sur-Yon	16	30,0	4,3	49
schistes et micaschistes du Haut Bocage	Haut-Bocage	51	40,0	4,4	49
schistes et micaschistes de Chantonnay	Chantonnay	40	18,0	2,2	42

Tableau 5.1. : Sous-unités définies dans la formation des méta-sédiments

L'unité des Sables d'Olonne est peu représentée, avec seulement 8 points.

### b) Résultats de l'analyse statistique croisée sur les débits

Le tableau suivant présente les résultats de l'analyse statistique croisée sur les débits instantanés. Les unités sont classées par ordre d'indice global.

Lithologie et unités	Nombre de points	% de forages de débit $\geq 10$ m <sup>3</sup> /h	Débit moyen des forages $\geq 10$ m <sup>3</sup> /h (m <sup>3</sup> /h)	Débit moyen des 25% des meilleurs forages (m <sup>3</sup> /h)	Indice global
micaschistes du gp de Nieu-le-Dolent	46	33%	21,5	25,1	8,179
schistes noirs du gp de Nieu-le-Dolent	51	27%	23,1	24,1	6,626
schistes et micaschistes de Saint-Gilles	44	16%	21,0	15,6	2,488
micaschistes du gp des Sables d'Olonne	8	13%	30,0	17,0	2,125
schistes ardoisiers, quartzites	16	13%	21,3	13,6	1,703
schistes et micaschistes du Haut Bocage	51	12%	23,9	13,7	1,605
schistes et micaschistes de Chantonnay	40	3%	18,0	6,3	0,158

Tableau 5.2. Résultats de l'analyse statistique croisée sur les méta-sédiments

L'indice global varie de façon significative de 8,179 à 0,158.

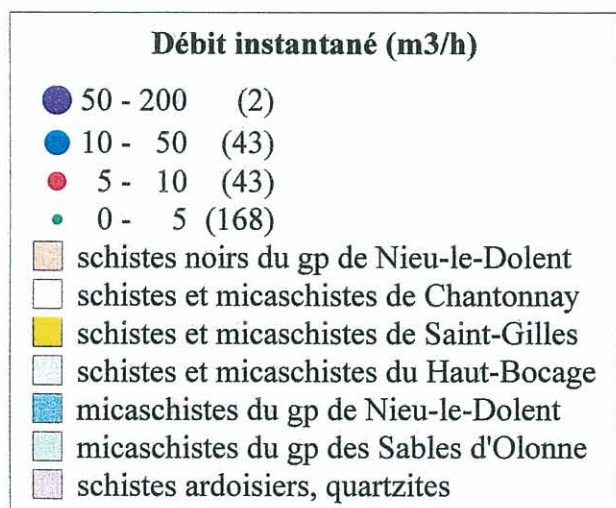
- Les schistes et micaschistes du groupe de Nieu-le-dolent, dans le domaine de la Roche-sur-Yon donnent des résultats comparables. Les micaschistes sont légèrement meilleurs. La différence peut être due au fait que les micaschistes ont été plus fortement métamorphisés au contact des granites, ce qui a pu accentuer la fracturation.
- Les schistes et micaschistes de Saint-Gilles, dans le Bas-Bocage, ceux du sud-ouest du domaine de la Roche-sur-Yon (schistes ardoisiers et ceux du groupe des

Sables d'Olonne) et les schistes du Haut-Bocage, donnent des résultats comparables.

- Les schistes et micaschistes de Chantonnay arrivent en dernière position.



20 Km



*Figure 5.1. : Sous-unités considérées dans les méta-sédiments*

### 5.1.3. Résultats du découpage pour les granites et assimilés

#### a) Les sous-unités considérées

7 sous-unités ont été considérées parmi les granites et assimilés (tableau 5.3. et figure 5.2.).

Lithologie et unités	Domaine	Nombre de points	Débit maxi (m <sup>3</sup> /h)	Débit moyen (m <sup>3</sup> /h)	Profondeur moyenne (m)
granite de la Roche-sur-Yon	La Roche-sur-Yon	123	153,0	12,8	58
granite de Pouzauges	Haut-Bocage	86	100,0	6,9	37
granite de Mortagne	Haut-Bocage	182	150,0	5,5	50
orthogneiss de Montaigu	Saint-Nazaire	12	15,0	4,2	54
orthogneiss de Mervent	Bas-Bocage	19	40,0	4,3	39
paragneiss, ensemble migmatique de l'unité des Herbiers	Haut-Bocage	31	25,0	3,8	49
orthogneiss des Essarts	Les Essarts	36	20,0	3,0	36

Tableau 5.3. : Sous-unités définies dans la formation des granites et assimilés

Nous avons regroupé les 8 forages situés dans la lithologie des "schistes tâchetés, cornéennes" avec ceux des granites de Pouzauges. En effet, les coupes géologiques de ces forages indiquent que les arrivées d'eau s'effectuent dans les granites.

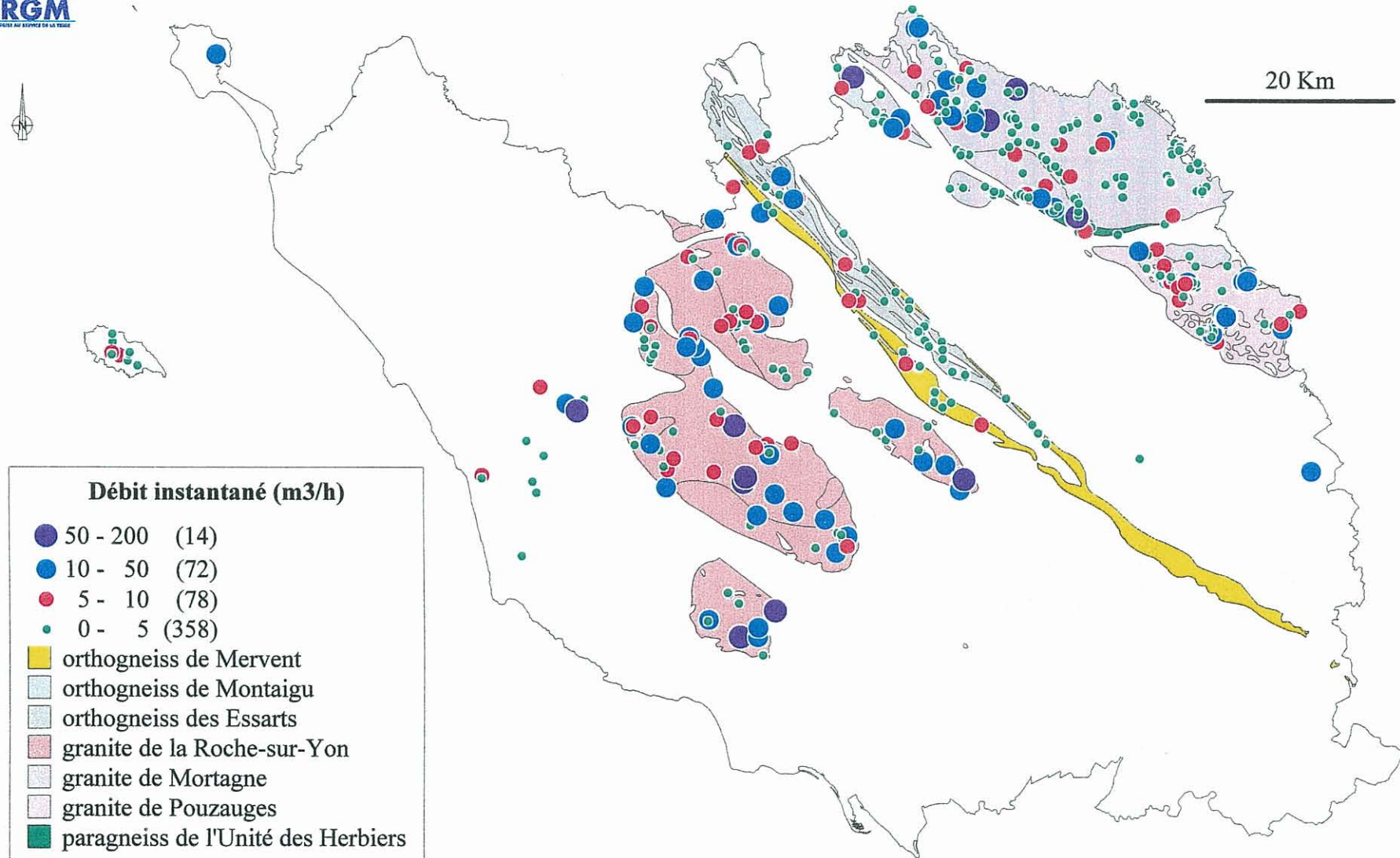
#### b) Résultats de l'analyse statistique croisée sur les débits

Lithologie et unités	Nombre de points	% de forages de débit ≥ 10 m <sup>3</sup> /h	Débit moyen des forages ≥ 10 m <sup>3</sup> /h (m <sup>3</sup> /h)	Débit moyen des 25% des meilleurs forages (m <sup>3</sup> /h)	Indice global
granite de la Roche-sur-Yon	123	33%	31,9	38,4	12,794
granite de Pouzauges	86	20%	24,5	21,4	4,235
granite de Mortagne	182	9%	40,0	18,2	1,704
orthogneiss de Montaigu	12	8%	15,0	10,0	0,830
orthogneiss de Mervent	19	5%	40,0	13,0	0,685
paragneiss, ensemble migmatique de l'unité des Herbiers	31	6%	20,5	10,2	0,660
orthogneiss des Essarts	36	6%	15,0	8,3	0,458

Tableau 5.4. Résultats de l'analyse statistique croisée sur les granites et assimilés

L'indice global varie de 12,794 à 0,458.

- Le massif de granite de la Roche-sur-Yon est le mieux classé, avec le tiers de forages de débit supérieur à 10 m<sup>3</sup>/h, et un débit moyen des 25% des meilleurs forages supérieur à 38 m<sup>3</sup>/h.
- Le granite de Pouzauges donne également des résultats intéressants, avec un débit moyen du quartile supérieur de 21,4 m<sup>3</sup>/h.
- Le granite de Mortagne arrive en troisième position, avec un débit moyen du quartile supérieur de 10 m<sup>3</sup>/h.
- Les orthogneiss et paragneiss sont en moyenne moins productifs que les granites.



*Figure 5.2. : Sous-unités considérées dans les granites et assimilés*

#### 5.1.4. Résultats du découpage pour les amphibolites

##### a) Les sous-unités considérées

3 sous-unités ont été considérées, en effectuant un découpage par domaines (tableau 5.5. et figure 5.3.)

Lithologie et unités	Domaine	Nombre de points	Débit maxi (m <sup>3</sup> /h)	Débit moyen (m <sup>3</sup> /h)	Profondeur moyenne (m)
amphibolites du Bas Bocage	Bas-Bocage	30	50,0	4,9	37
amphibolites de Montaigu	Chantonnay	21	27,0	4,5	44
amphibolites des Essarts	Les Essarts	16	10,5	3,4	34

Tableau 5.5. : Sous-unités définies dans la formation des amphibolites

##### b) Résultats de l'analyse statistique croisée sur les débits

Lithologie et unités	Nombre de points	% de forages de débit $\geq 10$ m <sup>3</sup> /h	Débit moyen des forages de débit $\geq 10$ m <sup>3</sup> /h (m <sup>3</sup> /h)	Débit moyen des 25% des meilleurs forages (m <sup>3</sup> /h)	Indice global
amphibolites du Bas Bocage	30	13%	22,6	15,2	2,027
amphibolites de Montaigu	21	5%	21,0	11,2	0,535
amphibolites des Essarts	16	6%	10,5	8,4	0,527

Tableau 5.6. : Résultats de l'analyse statistique croisée sur les amphibolites

L'indice global varie de 2,027 à 0,527. L'amplitude est beaucoup plus faible que dans le cas des méta-sédiments et des granites.

- Les amphibolites du Bas-Bocage apparaissent les plus productives.
- Les amphibolites de Montaigu et celles des Essarts donnent des résultats comparables.



20 Km

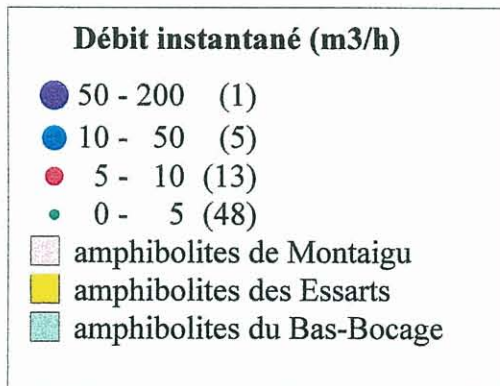


Figure 5.3. : Sous-unités considérées dans les amphibolites

### 5.1.5. Résultats du découpage pour le socle sédimentaire de Chantonnay

#### a) Les sous-unités considérées

3 sous-unités ont été considérées, qui correspondent à des groupes géologiques (tableau 5.7. et figure 5.4.).

Lithologie et unités	Domaine	Nombre de points	Débit maxi (m <sup>3</sup> /h)	Débit moyen (m <sup>3</sup> /h)	Profondeur moyenne (m)
schistes, grès, conglomérats du gp de la Sigournais	Chantonnay	17	20,0	3,4	43
schistes, grès, grauwackes du gp de Saint Fulgent	Chantonnay	124	34,0	3,3	42
schistes, grès, quartzites du gp de Réaumur	Chantonnay	55	62,5	3,5	39

Tableau 5.7. : Sous-unités définies dans la formation du socle sédimentaire de Chantonnay

#### b) Résultats de l'analyse statistique croisée sur les débits

Lithologie et unités	Nombre de points	% de forages de débit ≥ 10 m <sup>3</sup> /h	Débit moyen des forages ≥ 10 m <sup>3</sup> /h (m <sup>3</sup> /h)	Débit moyen des 25% des meilleurs forages (m <sup>3</sup> /h)	Indice global
schistes, grès, conglomérats du gp de la Sigournais	17	12%	17,2	10,6	1,247
schistes, grès, grauwackes du gp de Saint Fulgent	124	9%	15,3	9,3	0,820
schistes, grès, quartzites du gp de Réaumur	55	5%	35,8	11,6	0,630

Tableau 5.8. : Résultats de l'analyse statistique croisée sur les débits dans le socle sédimentaire de Chantonnay

L'indice global varie de 1,247 à 0,630.

Pour ces trois groupes, le débit moyen du quartile supérieur est de l'ordre de 10 m<sup>3</sup>/h. Le groupe de la Sigournais apparaît en moyenne le plus productif.

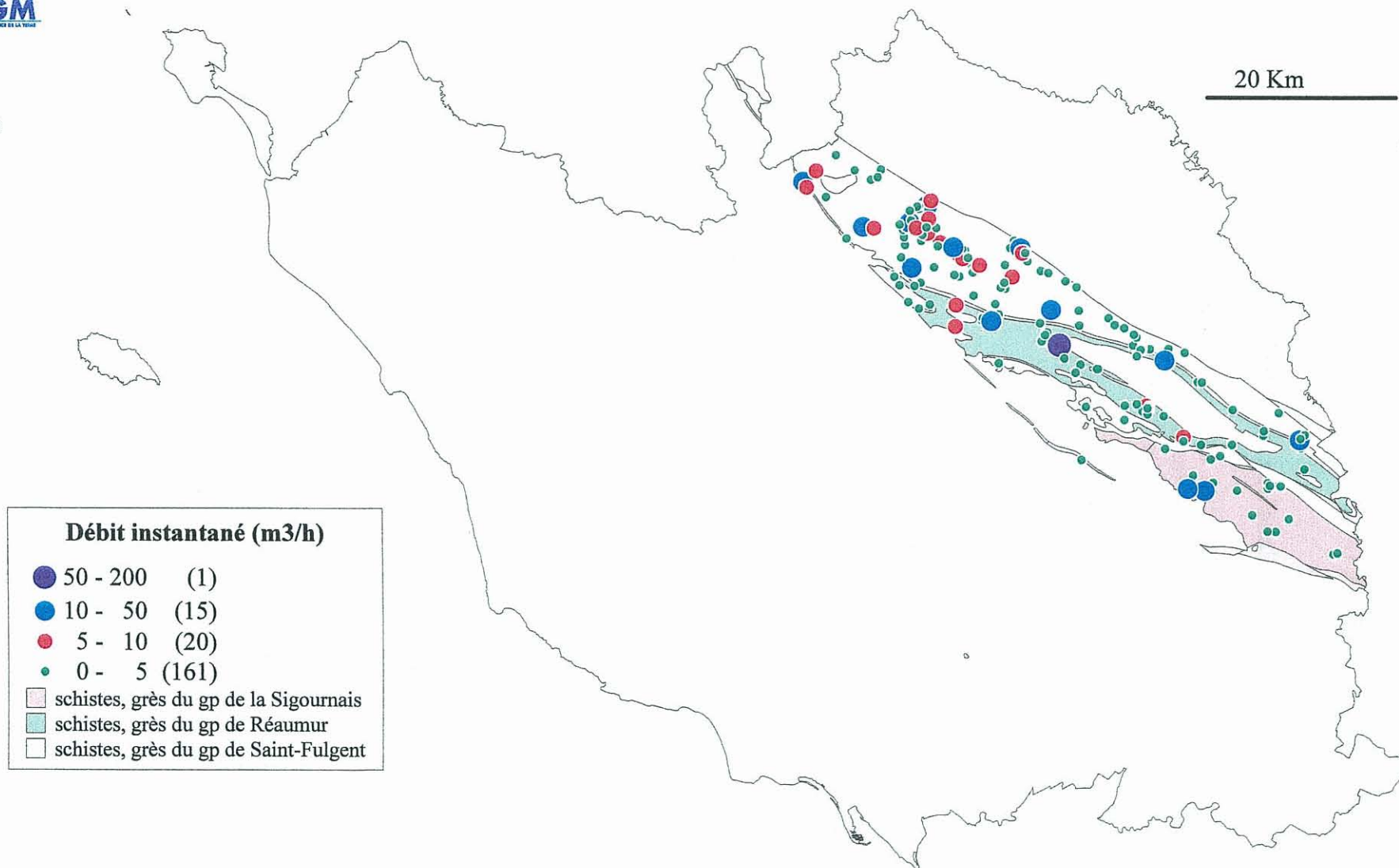


Figure 5.4. : Sous-unités considérées dans le socle sédimentaire de Chantonnay

## 5.2. SYNTHÈSE DES RESULTATS

### 5.2.1. Analyse statistique croisée sur les débits

Les résultats obtenus sur les sous-unités définies dans les formations de socle, sont regroupés dans un tableau commun (nous n'avons pas inclus ceux du bassin sédimentaire jurassique de Chantonnay, qui a été traité dans le chapitre 4).

Ces différentes unités sont alors classées selon leur indice global. Les résultats du classement sont donnés dans le tableau de synthèse 5.9.

### 5.2.2. Définition des classes d'intérêt

Nous avons défini 3 classes d'intérêt à partir des résultats du classement de toutes les formations.

- **Classe 1** : Elle regroupe les formations dont le débit moyen des 25% des meilleurs forages est supérieur à 20 m<sup>3</sup>/h. L'indice global varie de 4,235 à 12,794. Les trois premières formations de cette classe concernent le domaine de la Roche-sur-Yon. L'unité granitique de la Roche-sur-Yon arrive en tête, puis viennent les micaschistes du groupe de Nieu-le-Dolent, en auréole autour de ce massif, et métamorphisés lors de la montée du granite. Les schistes de Nieu-le-Dolent donnent des résultats un peu plus faibles, mais du même ordre de grandeur que les micaschistes. Le granite de Pouzauges
- **Classe 2** : Elle regroupe les formations de débit moyen des 25% des meilleurs forages supérieurs à 10 m<sup>3</sup>/h. L'indice global varie de 1,247 à 2,488. On retrouve en tête de cette classe l'unité des schistes de Saint-Gilles.
- **Classe 3** : Elle concerne les formations d'indice global inférieur à 1. Le pourcentage de forages de débit supérieur à 10 m<sup>3</sup>/h est inférieur à 10%, et le débit moyen du quartile supérieur varie de 6,3 m<sup>3</sup>/h à 13 m<sup>3</sup>/h.

Ces classes ainsi définies permettent de hiérarchiser les différentes formations de socle en fonction de leur potentialité de ressource, en considérant à la fois la probabilité d'obtenir des forages productifs (par le pourcentage de forages de débits supérieur à 10 m<sup>3</sup>/h), et les débits que l'on peut raisonnablement attendre (par le débit moyen des 25% des meilleurs forages). Le résultat est illustré en figure 5.5., qui donne les fourchettes statistiques pour les trois classes d'intérêt définies.

La carte de synthèse des zones de socle à plus fortes potentialités de ressources est présentée figure 5.6.

Lithologie et unités	Domaine	Grande formation	Nombre de points	Profondeur moyenne (m)	% de forages de débit $\geq 10 \text{ m}^3/\text{h}$	Débit moyen des 25% des meilleurs forages ( $\text{m}^3/\text{h}$ )	Indice global	Classes d'intérêt
granite de la Roche-sur-Yon	La Roche-sur-Yon	granites et assimilés	123	58	33%	38,4	12,794	1
micaschistes du gp de Nieu-le-Dolent	La Roche-sur-Yon	méta-sédiments	46	50	33%	25,1	8,179	
schistes noirs du gp de Nieu-le-Dolent	La Roche-sur-Yon	méta-sédiments	51	53	27%	24,1	6,626	
granite de Pouzauges	Haut-Bocage	granites et assimilés	86	37	20%	21,4	4,235	
schistes et micaschistes de Saint-Gilles	Bas-Bocage	méta-sédiments	44	61	16%	15,6	2,488	2
micaschistes du gp des Sables d'Olonne	La Roche-sur-Yon	méta-sédiments	8	45	13%	17,0	2,125	
amphibolites du Bas Bocage	Bas-Bocage	amphibolites	30	37	13%	15,2	2,027	
granite de Mortagne	Haut-Bocage	granites et assimilés	182	50	9%	18,2	1,704	
schistes ardoisiers, quartzites	La Roche-sur-Yon	méta-sédiments	16	49	13%	13,6	1,703	
schistes et micaschistes du Haut Bocage	Haut-Bocage	méta-sédiments	51	49	12%	13,7	1,605	
porphyroïdes de Vendée	Bas-Bocage	porphyroïdes	41	61	15%	10,4	1,519	
schistes, grès, conglomérats du gp de la Sigournais	Chantonnay	socle sédimentaire	17	43	12%	10,6	1,247	
orthogneiss de Montaigu	Saint-Nazaire	granites et assimilés	12	54	8%	10,0	0,830	3
schistes, grès, grauwackes du gp de Saint Fulgent	Chantonnay	socle sédimentaire	124	42	9%	9,3	0,820	
orthogneiss de Mervent	Bas-Bocage	granites et assimilés	19	39	5%	13,0	0,685	
paragneiss, ensemble migmatique de l'unité des Herbiers	Haut-Bocage	granites et assimilés	31	49	6%	10,2	0,660	
schistes, grès, quartzites du gp de Réaumur	Chantonnay	socle sédimentaire	55	39	5%	11,6	0,630	
amphibolites de Montaigu	Chantonnay	amphibolites	21	44	5%	11,2	0,535	
amphibolites des Essarts	Les Essarts	amphibolites	16	34	6%	8,4	0,527	
roches volcaniques	Chantonnay	volcaniques	20	35	5%	9,5	0,473	
orthogneiss des Essarts	Les Essarts	granites et assimilés	36	36	6%	8,3	0,458	
schistes et micaschistes de Chantonnay	Chantonnay	méta-sédiments	40	42	3%	6,3	0,158	

Tableau 5.9. : Caractéristiques statistiques des formations classées par ordre d'intérêt

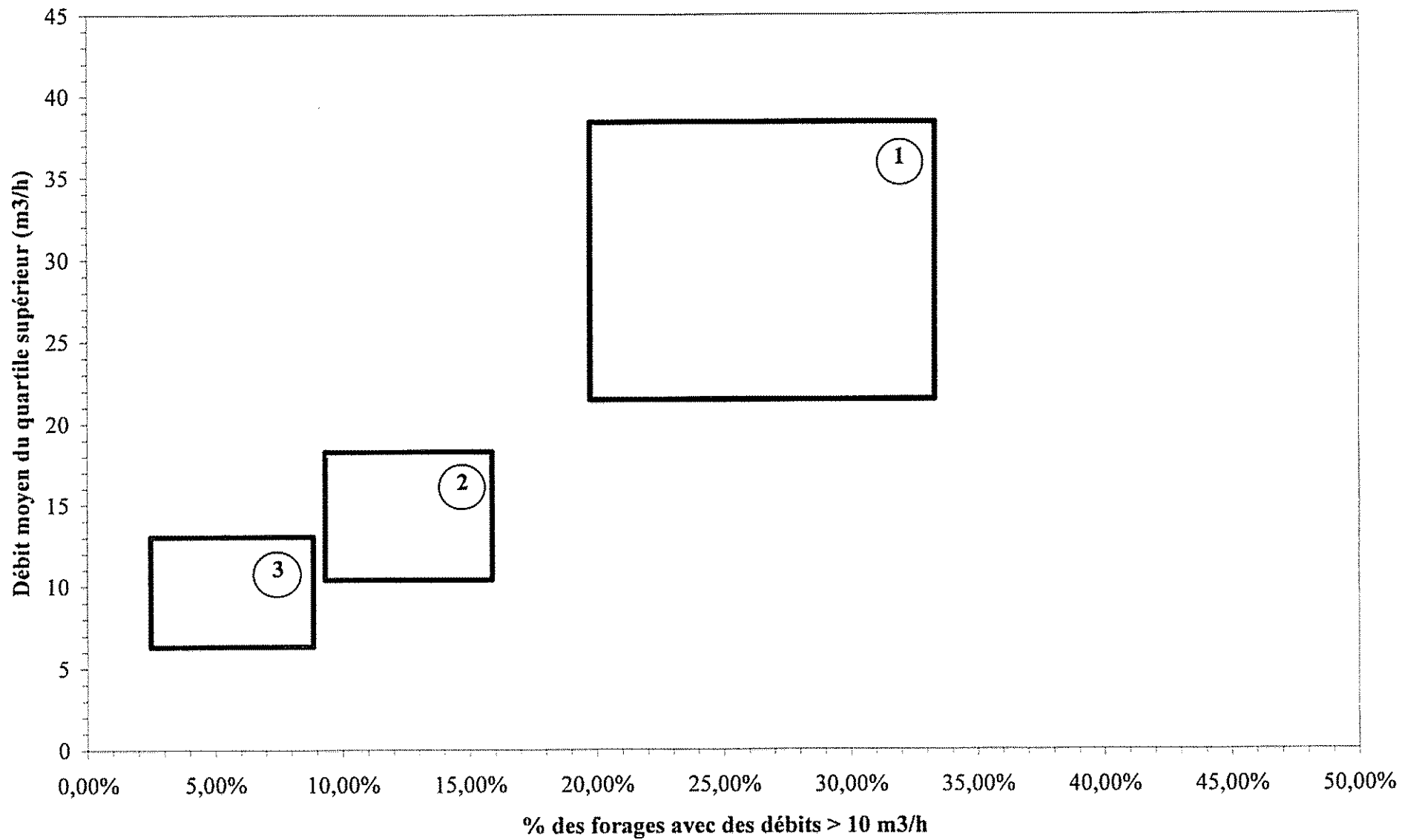


Figure 5.5. : Caractéristiques statistiques des classes d'intérêt

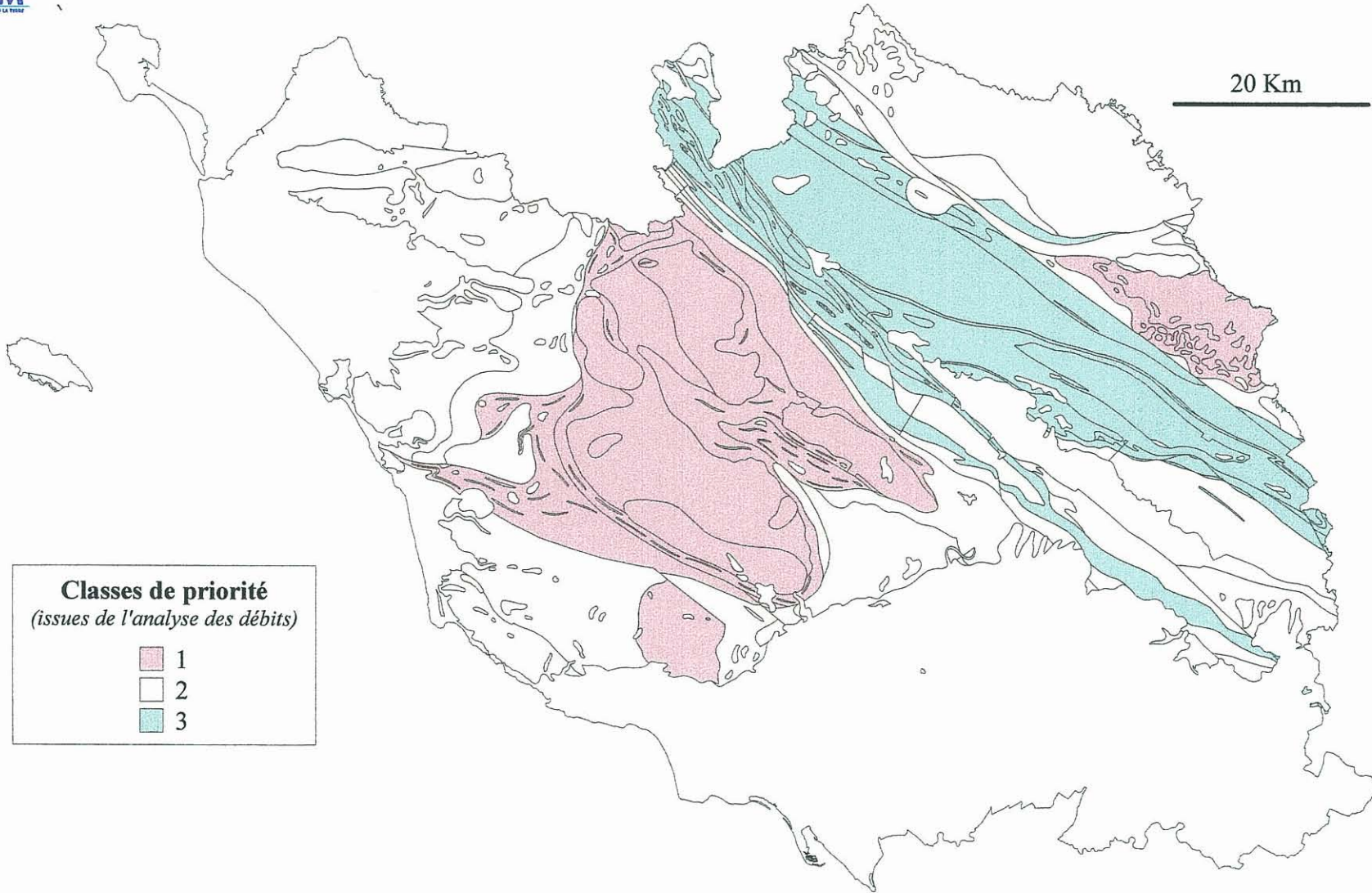


Figure 5.6. : Carte de synthèse des zones à plus fortes potentialités de ressources

## 6. Estimation de la recharge

### 6.1. ESTIMATION QUANTITATIVE DE LA RESSOURCE MOBILISABLE

#### 6.1.1. De la pluie aux réserves souterraines

La pluie efficace est la partie de la pluie totale qui n'est pas reprise par l'évaporation directe et par la transpiration foliaire des plantes (évapotranspiration). Elle donne lieu à un apport d'eau à l'hydrosystème continental. Cette alimentation se traduit par un écoulement d'eau, avec une répartition en deux composantes (figure 6.1.) :

- Un ruissellement de surface
- Une infiltration dans le sous-sol en direction des nappes d'eau souterraine

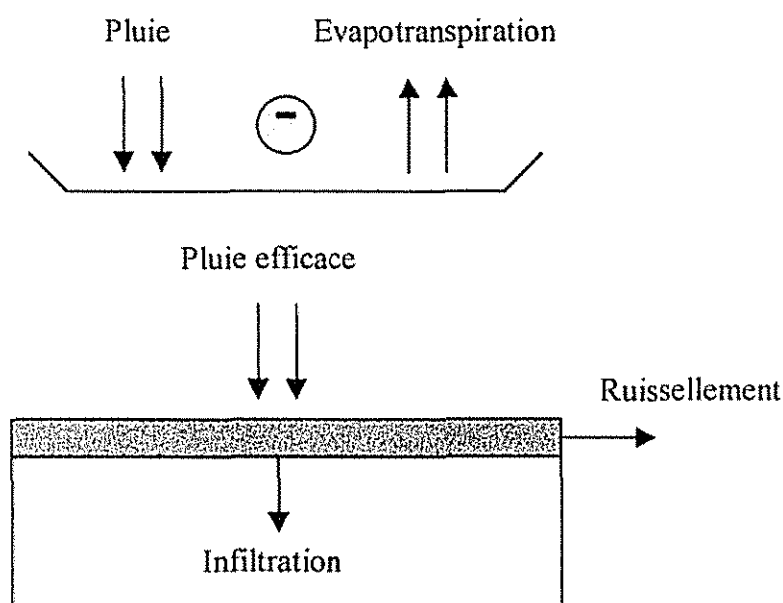


Figure 6.1. : Répartition de la pluie efficace en ruissellement et infiltration

L'estimation des pluies efficaces passe par celle de l'évapotranspiration réelle (ETR), paramètre qui dépend :

- de l'évapotranspiration potentielle (ETP, qui correspond au maximum qui puisse être évapotranspiré si l'eau est toujours disponible en quantité suffisante)
- de la réserve utile du sol (RU). Cette réserve est égale à la quantité d'eau du sol facilement extractible par les racines des plantes, réserve dans laquelle elles iront puiser si l'apport des pluies ne suffit pas.

## 6.1.2. Quelques ordres de grandeur

### *a) Pluies efficaces*

Le BRGM a effectué en 1996 une étude sur les précipitations efficaces moyennes annuelles en France pour la période 1965-1994 (Daum J.R., (1996)).

Pour la Vendée sur cette période, la moyenne annuelle des précipitations totales varie dans la fourchette 800-900 mm pour le centre du département, avec une zone plus pluvieuse (900-1000 mm) vers la Mothe-Achard. Plus proche de la Vendée littorale, les précipitations moyennes sont plus faibles, de l'ordre de 700-800 mm.

Sur cette même période, les pluies efficaces ont été calculées, en utilisant la base de données des classes de réserves en eau utile de la France de l'INRA. Les pluies efficaces sont de l'ordre de 250-500 mm sur la majeure partie du département, (avec une réserve utile inférieure à 70 mm sur plus de la moitié de la surface), et de l'ordre de 100-250 mm pour la pointe nord-ouest (marais breton), en considérant une réserve utile du sol comprise entre 70 et 200 mm.

### *b) Part des pluies efficaces infiltrées en terrain de socle*

La part de la pluie efficace infiltrée dépend à la fois de la nature du sol, plus ou moins perméable, et de la pente des versants. Elle peut donc être très variable.

Talbo H. (1995), indique qu'en moyenne pour l'ensemble du socle de la Bretagne, on peut retenir que l'alimentation des nappes est assurée par le tiers des pluies efficaces. Une étude récente de modélisation de la recharge avec le logiciel GARDENIA menée sur 15 bassins versants bretons a conduit à des valeurs d'infiltration comprises entre 25 % et 65 % de la pluie efficace.

## 6.1.3. Part de la ressource mobilisable

Estimer la part de la recharge qui sera raisonnablement exploitable n'est pas chose facile. Tout prélèvement souterrain est un manque à gagner pour la nappe, et peut avoir une influence à plus long terme sur les débits des cours d'eau.

Les prélèvements doivent rester largement inférieurs au volume de la recharge, de l'ordre de quelques % au maximum (Talbo H., (1995)). Sur les plans techniques et économiques, seule une portion de la recharge est en tout état de cause exploitable par les collectivités.

## 6.2. PRINCIPE DE MODELISATION DE LA RECHARGE

### 6.2.1. Principe de fonctionnement du logiciel GARDENIA

Pour modéliser la recharge, nous avons utilisé le logiciel du BRGM GARDENIA (modèle Global A Réservoirs pour la simulation des Débits et des Niveaux Aquifères).

Il fonctionne sur le principe de réservoirs en série symbolisant les différents horizons naturels : le sol, la zone non saturée, et la zone saturée (figure 6.2.).

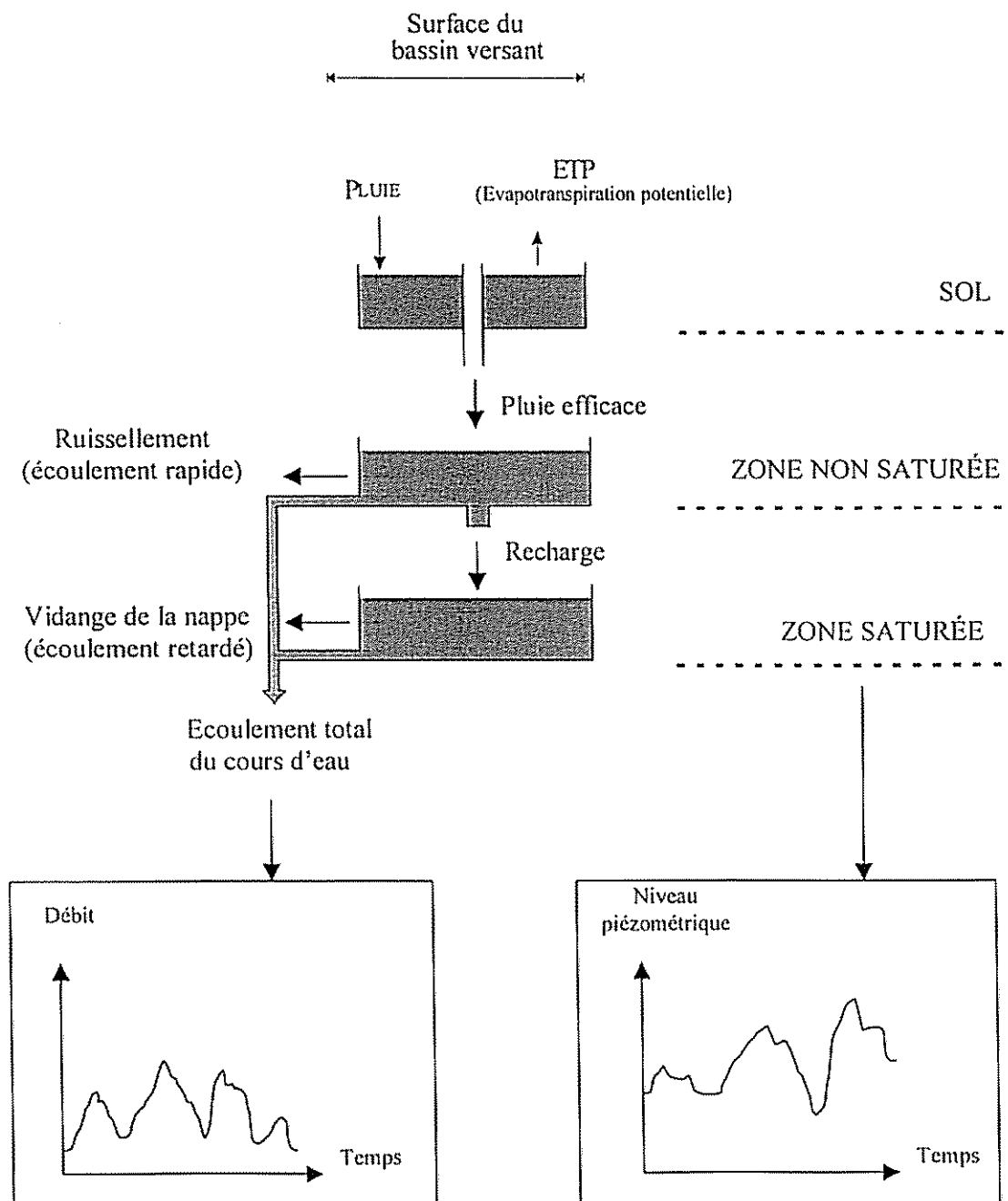


Figure 6.2. : Schéma de principe du modèle global à réservoirs GARDENIA

### **a) Les données d'entrée du modèle**

Les données d'entrée du modèle sont des chroniques concomitantes :

- de pluie,
- d'évapotranspiration potentielle (ETP),
- de débits ou de niveaux piézométriques.

### **b) Les paramètres**

Le modèle comporte plusieurs paramètres, qui permettent d'ajuster les échanges entre les différents réservoirs :

- Réserve utile dans le sol, exprimée en mm, pour estimer la pluie efficace à partir des données de pluie et d'évapotranspiration potentielle,
- Répartition entre l'écoulement rapide (assimilée au ruissellement), et l'écoulement retardé (assimilée à la recharge de la nappe) dans le réservoir superficiel (assimilée à la zone non saturée),
- Temps de vidange des différents réservoirs.

Le modèle comporte en outre d'autres paramètres mathématiques qui permettent de prendre en compte d'éventuelles incertitudes sur les données de base et d'optimiser le calage (coefficient de correction des pluies, des ETP,...)

### **c) Les résultats de calage du modèle**

L'ajustement des différents paramètres du modèle s'effectue par calage des chroniques de débits (ou des piézométries) calculées sur les chroniques réelles.

Le modèle GARDENIA est un modèle global, qui fournit en sortie un bilan des lames d'eau écoulées dans les différents réservoirs :

- Pluie efficace
- Ecoulement rapide
- Ecoulement retardé
- Ecoulement total au cours d'eau

## **6.2.2. Analyse critique des résultats de modélisation**

La validité des résultats de modélisation dépend de plusieurs critères, liés à l'aptitude du modèle conceptuel choisi à traduire les processus physiques naturels, à la validité des données d'entrée, et à la sensibilité du résultat recherché aux paramètres du modèle.

### **a) Choix du modèle conceptuel**

Toute modélisation, la plus élaborée soit-elle, reste une schématisation simplifiée des phénomènes physiques naturels. Par nécessité d'abord, la complexité des processus étant

telle qu'on ne peut affirmer les connaître et les mesurer avec une précision absolue. Par pragmatisme ensuite, puisqu'on demande surtout à un modèle d'être capable de donner un résultat final qui soit le plus vraisemblable possible, même avec des rouages simples.

Ainsi le modèle GARDENIA fait l'hypothèse que le bassin versant hydrogéologique est équivalent au bassin versant topographique, ce qui peut être une schématisation faussée en aquifère de socle : si la recharge de la nappe s'effectue principalement par la couche d'altération superficielle, l'écoulement est assuré par les réseaux de fissures et fractures. Si un forage est situé une zone de fractures de grande extension, il pourra solliciter par drainage des réservoirs altéritiques situés hors du bassin versant topographique.

De plus, la recharge de la nappe est assimilée à la part de l'écoulement lent. Or, les écoulements souterrains peuvent avoir des composantes rapides, en particulier dans les chemins préférentiels d'écoulement que constituent les fractures et fissures ouvertes.

### ***b) Validité des données d'entrée***

Les données d'entrée du modèle sont des chroniques concomitantes de pluies, d'évapotranspiration potentielle, de débits ou de niveaux piézométriques, à des pas de temps plus ou moins serrés, suivant les disponibilités : journalier, décadaire, mensuel, ... Les chroniques doivent être suffisamment longues (plusieurs années), pour tenir compte à la fois des variations saisonnières et inter-annuelles (année sèche, année humide, année "moyenne").

- La pluie doit être la plus représentative possible de celle effectivement tombée sur le bassin versant. La précision dépendra du nombre et de l'emplacement des stations météorologiques, et de la variabilité spatiale des pluies.
- L'évapotranspiration potentielle peut être estimée par la méthode de Turc, à partir de données de températures moyennes de l'air, d'humidité de l'air, et de durées d'ensoleillement. Ce type de données n'est en général pas disponible sur toutes les stations météorologiques.
- La validité des chroniques de débits dépend de la précision de la mesure de hauteur d'eau, de la validité de la courbe de tarage hauteur/débit, et de la présence ou non de facteurs pouvant influencer le débit naturel : retenues, pompages, moulins, ...
- Les piézomètres choisis doivent être représentatifs des fluctuations naturelles de la nappe, donc non influencés par des pompages ou à proximité de cours d'eau.

### ***c) Sensibilité du résultat recherché aux paramètres du modèle***

Le calage d'un modèle n'est pas univoque : plusieurs jeux de paramètres peuvent conduire à des calages équivalents en terme d'ajustement des chroniques de débits ou de

piézométrie calculées sur les chroniques mesurées, mais avec des répartitions de lames d'eau (et notamment la répartition entre écoulement rapide et écoulement retardé) significativement différentes dans chacun des cas. En l'absence de données de référence, le choix d'un paramétrage plutôt qu'un autre n'est pas toujours aisé.

Dans les cas où plusieurs jeux de paramètres conduisaient à des calages équivalents, nous avons retenu celui pour lequel la lame infiltrée calculée, et la répartition entre lame ruisselée et lame infiltrée nous paraissaient les plus vraisemblables au vu des ordres de grandeur connus par ailleurs (cf. partie 6.1.2.).

### **6.3. MODELISATION DE LA RECHARGE**

#### **6.3.1. Objectifs recherchés**

En modélisant la recharge en 10 points répartis dans le socle avec le modèle global GARDENIA, l'objectif est de mettre en évidence une éventuelle variabilité spatiale sur les terrains de socle du département, et plus particulièrement sur les zones à plus fortes potentialités de ressources que nous avons mises en évidence par l'analyse des débits instantanés. L'utilisation d'un modèle global se justifie ici puisque la comparaison des résultats importe plus que la quantité absolue, dont nous ne pourrions donner qu'un ordre de grandeur. Les différentes simulations ont été réalisées avec des critères de calage homogènes pour que la comparaison des résultats puisse se justifier.

#### **6.3.2. Choix des points**

10 points, dont 8 stations de jaugeage et 2 piézomètres, ont été choisis sur les terrains de socle de Vendée pour modéliser la recharge. Les critères de choix des points étaient :

- la proximité de stations météorologiques avec mesures de températures pour estimer l'évaporation potentielle par la méthode de Turc
- l'inclusion du bassin versant dans le socle
- la répartition des points dans les différentes formations de socle considérées
- la répartition des points dans différents réseaux hydrographiques de Vendée (le Lay, les Côtiers Vendéens, la Sèvre Nantaise, Grand Lieu)
- l'existence de chroniques suffisamment longues

Les caractéristiques des points choisis sont données dans le tableau 6.1.. L'origine des données ayant servi pour la modélisation de la recharge est la suivante :

- Données de jaugeage : DIREN/SEMA 44
- Données piézométriques : Conseil Général 85
- Données météo : METEO France

L'emplacement de ces 10 points et des 7 stations météorologiques qui ont été utilisées pour les données de pluie et d'ETP est présenté en figure 6.3.. En figure 6.4. sont représentés les différents bassins versants, et une partie du réseau hydrographique.

**a) Stations de jaugeage**

Commune	Lieu-Dit ou nom station	Domaine	Lithologie principale	Cours d'eau jaugé	Sous-bassin de	Surface du bassin versant (km <sup>2</sup> )	Altitude station jaugeage (mNGF)	Période d'ajustement	Pas de temps des données de calage	Station météo prise en compte
Dompierre-sur-Yon		La Roche-sur-Yon	granite	Yon	Lay	42	60	1986-1998	mensuel	La Roche-sur-Yon
La Chapelle-Palluau	Ancien Pont RD 978	La Roche-sur-Yon	granite	Vie	Côtiers Vendéens	118	26	1995-1998	mensuel	Palluau
Saint-Fulgent	Plessis-des-Landes	Chantonnay	granite	Grande Maine	Sèvre Nantaise	131	61	1994-1998	mensuel	Les Landes-Genusson
Chantonnay	St-Philbert-de-Pont-Charrault	Chantonnay	orthogneiss	Louing	Lay	120	43	1991-1998	mensuel	Chantonnay
Saint-Florent-des-Bois	La Clopinière	Bas Bocage	porphyroïdes	Marillet	Lay	48	26	1990-1998	mensuel	La Roche-sur-Yon
Saint-Prouan	Monsireigne	Chantonnay	socle sédimentaire	Grand Lay	Lay	131	63	1991-1998	mensuel	Pouzauges
Falleron	Pont sur D35	Bas Bocage	schistes de Saint-Gilles	Falleron	Côtiers Vendéens	31	26	1990-1998	mensuel	Palluau
Rocheservière	La Vacherie	Les Essarts	orthogneiss	Boulogne	Grand Lieu	193	16	1992-1997	mensuel	Rocheservière

**b) Piézomètres**

Commune	Lieu-dit	Domaine	Lithologie principale	N° BSS	Profondeur (m)	Zsol (mNGF)	Période d'ajustement	Pas de temps des données de calage	Station météo associée
Bournezeau	Le Bois Sorin	Bas-Bocage	porphyroïdes	0585-4N-0047	16	56	1993-1998	décadaire	La Roche-sur-Yon
La Mothe-Achard	La Forêt	La Roche-sur-Yon	schistes Nieu-le-Dolent	0584-2X-0011	nc	45	1992-1998	mensuel	La Mothe-Achard

*Tableau. 6.1. Caractéristiques des stations de jaugeage et des piézomètres choisis pour le calage de la recharge*

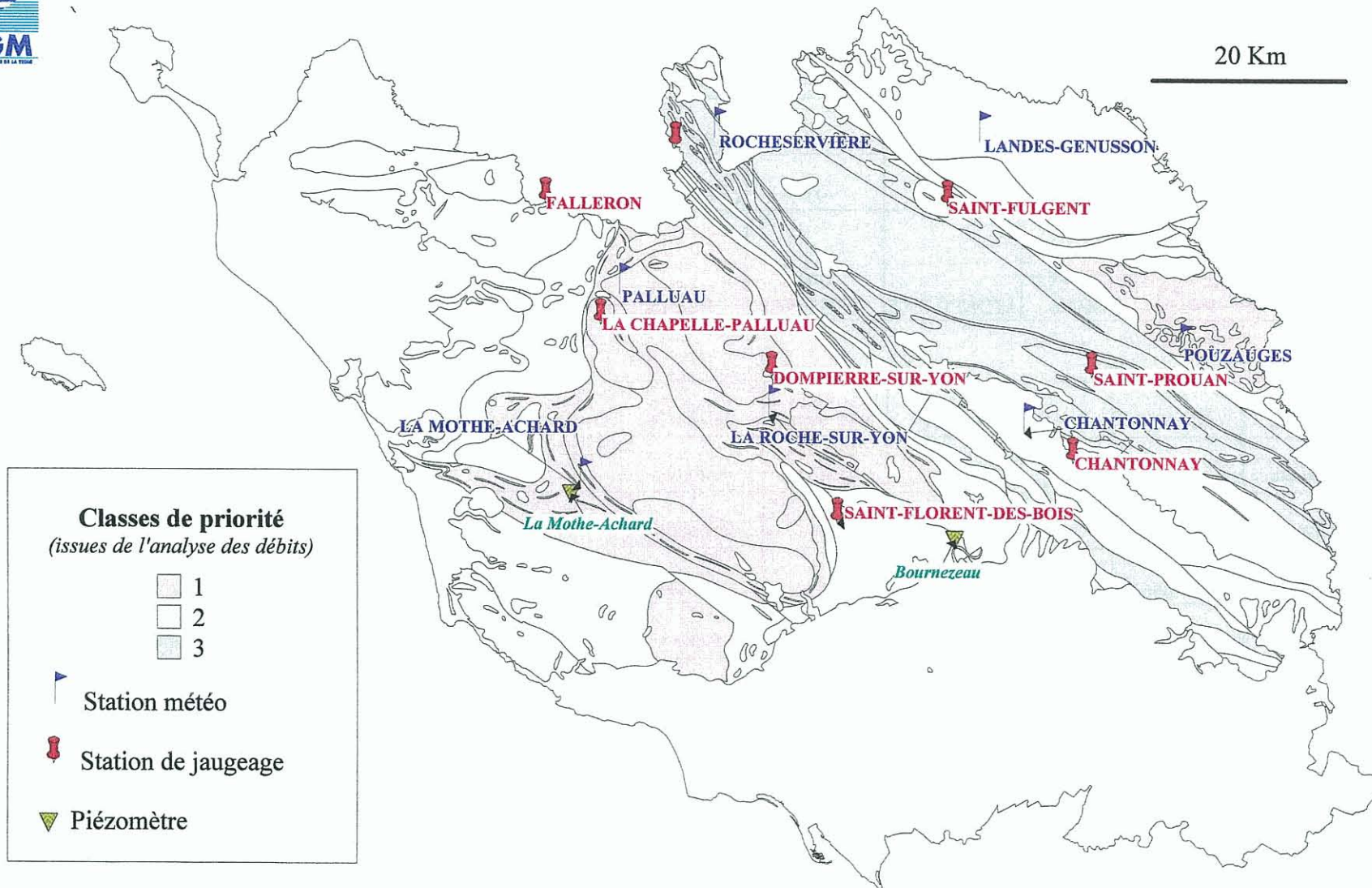
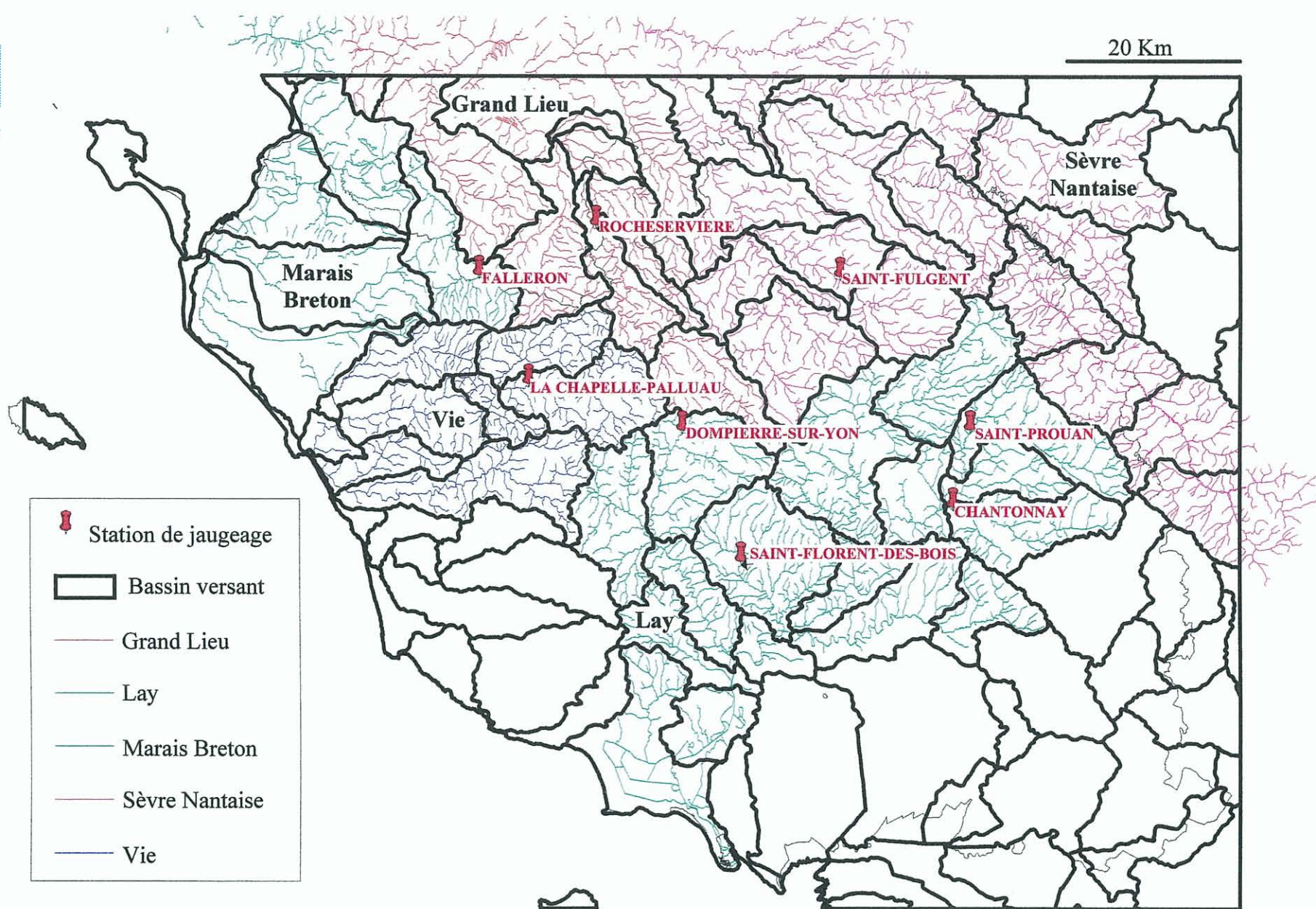


Figure 6.3. : Localisation des points de calage de la recharge

Données jaugeage : DIREN/SEMA 44

Données piézo : CG 85

Données météo : METEO FRANCE



*Figure 6.4. : Stations de jaugeage et réseaux hydrographiques concernés  
(avec tracé des bassins versants)*

### 6.3.3. Données climatologiques

#### a) Estimation de l'ETP

Les évaporations potentielles ont été calculées sur les 7 stations météorologiques au pas de temps mensuel, par la méthode de Turc, à partir des températures moyennes mensuelles de l'air mesurées aux stations, et des durées moyennes mensuelles d'ensoleillement mesurées à la station météorologique de la Roche-sur-Yon.

#### b) Analyse des pluies

Les pluies ont été entrées au pas de temps décadaire dans le modèle. L'objectif de la modélisation est d'estimer à la fois la quantité et la répartition spatiale de la recharge. Or, les périodes d'ajustement ne sont pas identiques pour tous les points. Nous avons donc calculé les pluies totales annuelles moyennes sur les différentes périodes d'ajustement, et sur la période commune 1990-1998 pour estimer l'influence du choix de la période sur la pluie totale. Les résultats sont présentés dans le tableau 6.2..

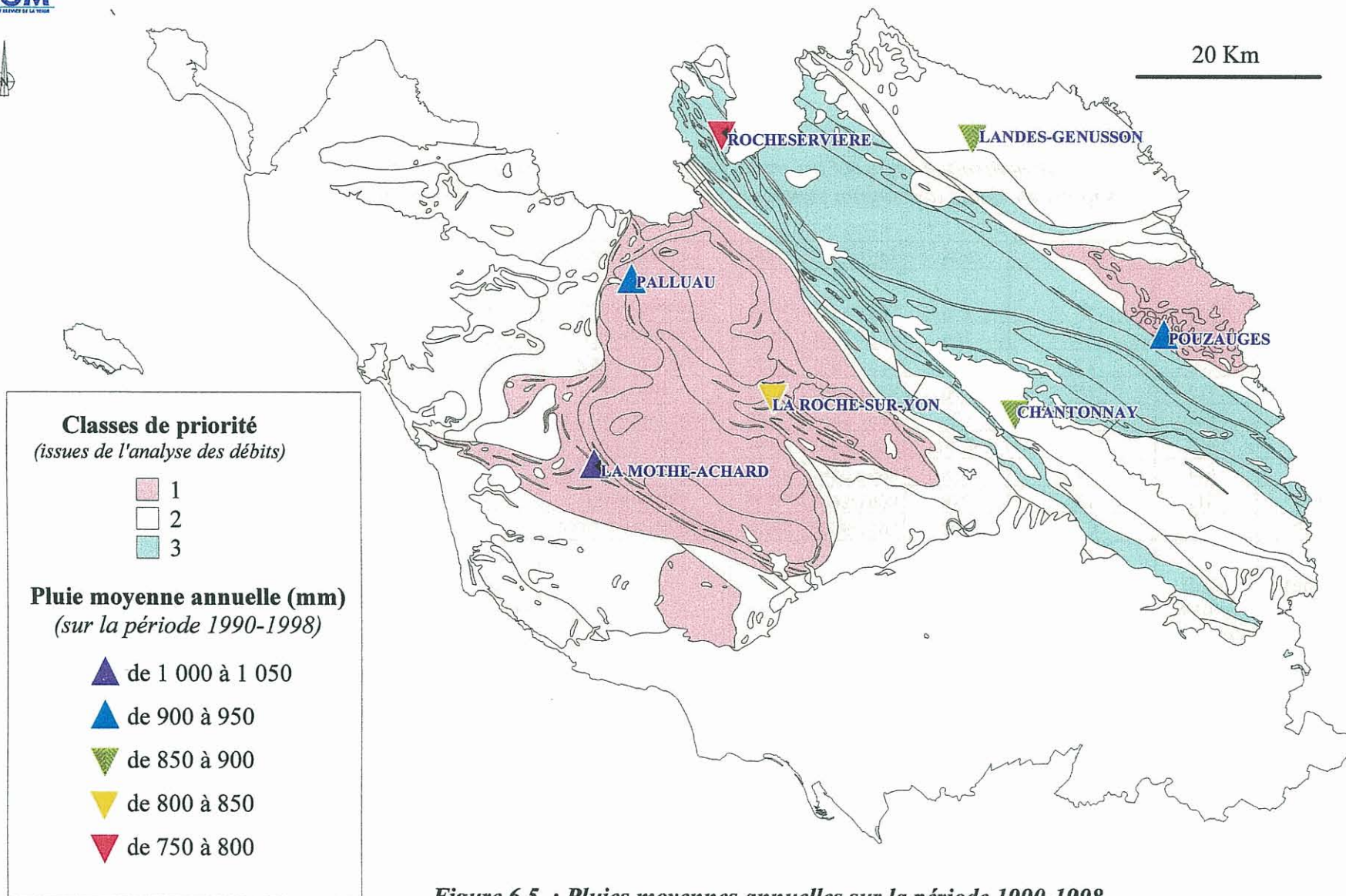
Par station, la différence de pluie efficace moyenne annuelle en fonction de la période de calcul reste très acceptable, de l'ordre de 20 mm. Le maximum de 49 mm obtenu à Rocheservière est dû à la courte période d'ajustement (1992-1994).

Ce tableau montre que les périodes d'ajustement incluent des années sèches et des années humides significatives.

En référence sur une plus longue période, la pluie totale annuelle moyenne à la Roche-sur-Yon pour la période 1980-1998 est de 877 mm. La pluviométrie est maximale à la Mothe-Achard, avec 1107 mm en 1990-1998, suivie de celles de Pouzauges (927 mm), et de Palluau (924 mm). La figure 6.5. synthétise ces données.

Station météo	Altitude (m)	Pluie annuelle sur la période de référence 1990-1998			Pluies - Résultats en moyenne annuelle sur la période de calage						
		Année moyenne (mm)	Pluie annuelle maximale (mm)	Pluie annuelle minimale (mm)	Station de calage	Type	Période de calage	Année moyenne (mm)	Différence entre périodes de référence et d'ajustement (mm)	Pluie annuelle maximale (mm)	Pluie annuelle minimale (mm)
La Roche-sur-Yon	90	829	1107	660	Dompierre-sur-Yon	débit	1986-1998	841	-12	1107	660
					Bournezeau	piézo	1993-1998	850	-21	1107	717
					St Florent-des-Bois	débit	1990-1998	830	0	1107	680
La Mothe-Achard	50	1011	1641	749	La Mothe-Achard	piézo	1992-1998	1036	-25	1644	749
Palluau	50	924	1215	735	La Chapelle-Palluau	débit	1995-1998	915	9	1042	811
					Falleron	débit	1991-1998	948	-24	1215	811
Rocheservière	45	766	956	623	Rocheservière	débit	1992-1997	779	-13	956	652
Chantonnay	93	883	1241	729	Chantonnay	débit	1991-1998	901	-19	1241	729
Les Landes-Genusson (ouverte en 1993)	105	898	1260	685	Saint-Fulgent	débit	1994-1998	904	-5	1260	685
Pouzauges	160	927	1391	667	Saint-Prouan	débit	1991-1998	960	-33	1391	692

**Tableau 6.2. : Comparaison, pour les stations météo, des pluies totales moyennes annuelles calculées sur la période de référence 1990-1998 et sur les périodes d'ajustement**



**Figure 6.5. : Pluies moyennes annuelles sur la période 1990-1998**

### 6.3.4. Résultats de la modélisation

#### *a) Bilans moyens annuels pour l'ajustement retenu*

Le tableau suivant 6.3. présente les bilans annuels moyens calculés sur les 10 points, sur leurs périodes de calage respectives, pour l'ajustement que nous avons retenu.

- La pluie efficace annuelle varie entre 267 et 442 mm, valeurs comprises dans la fourchette connue (cf. partie 6.1.2.). Ceci correspond à un pourcentage de la pluie total compris entre 35 et 44 %
- La lame infiltrée annuelle varie entre 93 et 186 mm, ce qui correspond à un pourcentage de la pluie efficace compris entre 30 et 59 %. Le maximum de 59 % est observé à La Chapelle-Palluau, et coïncide avec la lame maximale infiltrée.

En moyennant les résultats sur les 10 stations, on arrive aux bilans suivants :

- Pluie efficace moyenne : 356 mm
- Lame infiltrée moyenne : 145 mm
- Pourcentage moyen : 41 %

Les cartes de synthèse des lames infiltrées et des pourcentages correspondants sont données en figures 6.6. et 6.7.

#### *b) Bilans pour les années de pluviométrie maximale et minimale incluses dans la période d'ajustement*

Les résultats présentés tableau 6.3. sont exprimés en moyenne annuelle calculée sur la période d'ajustement. Raisonner en année moyenne pour la ressource en eau souterraine se justifie au vu de l'inertie des phénomènes. Cependant, pour évaluer la variabilité des phénomènes de recharge en fonction de la pluviométrie, nous avons noté, pour le même ajustement, les résultats de la modélisation pour les années de pluviométries extrêmes incluses dans les périodes de calage des 10 points : année la plus sèche, et année la plus humide disponibles. Les résultats sont présentés tableau 6.4.

Ce tableau montre la grande variabilité des phénomènes de recharge entre une année "sèche" et une année "humide".

- La lame infiltrée peut varier de plus du simple au double en fonction de la pluviométrie.
- Le pourcentage de pluie efficace infiltrée est supérieur lors des années sèches.

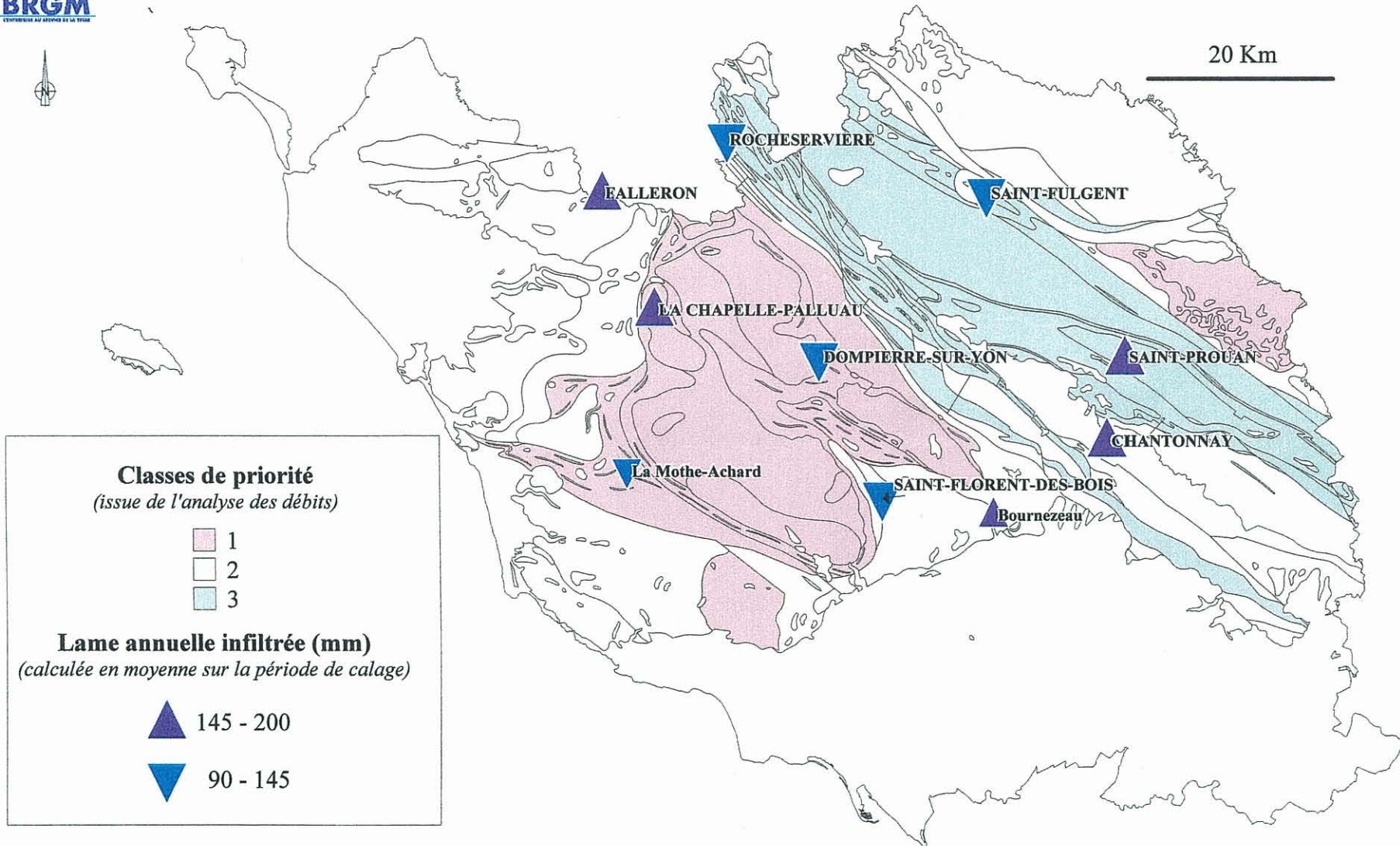
Il faut noter que ces résultats ne peuvent être qu'indicatifs des phénomènes de recharge en pluviométrie extrême, puisque les années "sèches" et "humides" disponibles sur les différentes périodes de calage n'ont pas forcément des temps de retour très importants.

Bilan annuel moyen calculé sur la période de calage (pour l'ajustement retenu)												
Station météo	Altitude (m)	Station de calage	Type	BV (km <sup>2</sup> )	Période de calage	Pluie (mm)	ETR (mm)	Pluie efficace (mm)	Pluie efficace en % de la pluie totale	Lame ruisselée (mm)	Lame infiltrée (mm)	% de pluie efficace infiltré
La Roche-sur-Yon	90	Dompierre-sur-Yon	débit	42	1986-1998	841	508	334	40%	201	127	38%
		Bournezeau	piézo	*	1993-1998	850	476	373	44%	219	150	40%
		St Florent-des-Bois	débit	48	1990-1998	830	507	322	39%	185	133	41%
La Mothe-Achard	50	La Mothe-Achard	piézo	*	1992-1998	1036	592	442	43%	303	133	30%
Palluau	50	La Chapelle-Palluau	débit	118	1995-1998	915	598	317	35%	141	186	59%
		Falleron	débit	31	1991-1998	948	542	405	43%	237	170	42%
Rocheservière	45	Rocheservière	débit	193	1992-1997	752	484	267	35%	171	93	35%
Chantonay	93	Chantonay	débit	120	1991-1998	902	559	342	38%	165	173	51%
Les Landes-Genusson	105	Saint-Fulgent	débit	131	1994-1998	904	556	348	38%	221	127	37%
Pouzauges	160	Saint-Prouan	débit	131	1991-1998	960	546	413	43%	252	157	38%

*Tableau 6.3. : Bilans annuels moyens obtenus sur la période de calage pour l'ajustement retenu*



20 Km

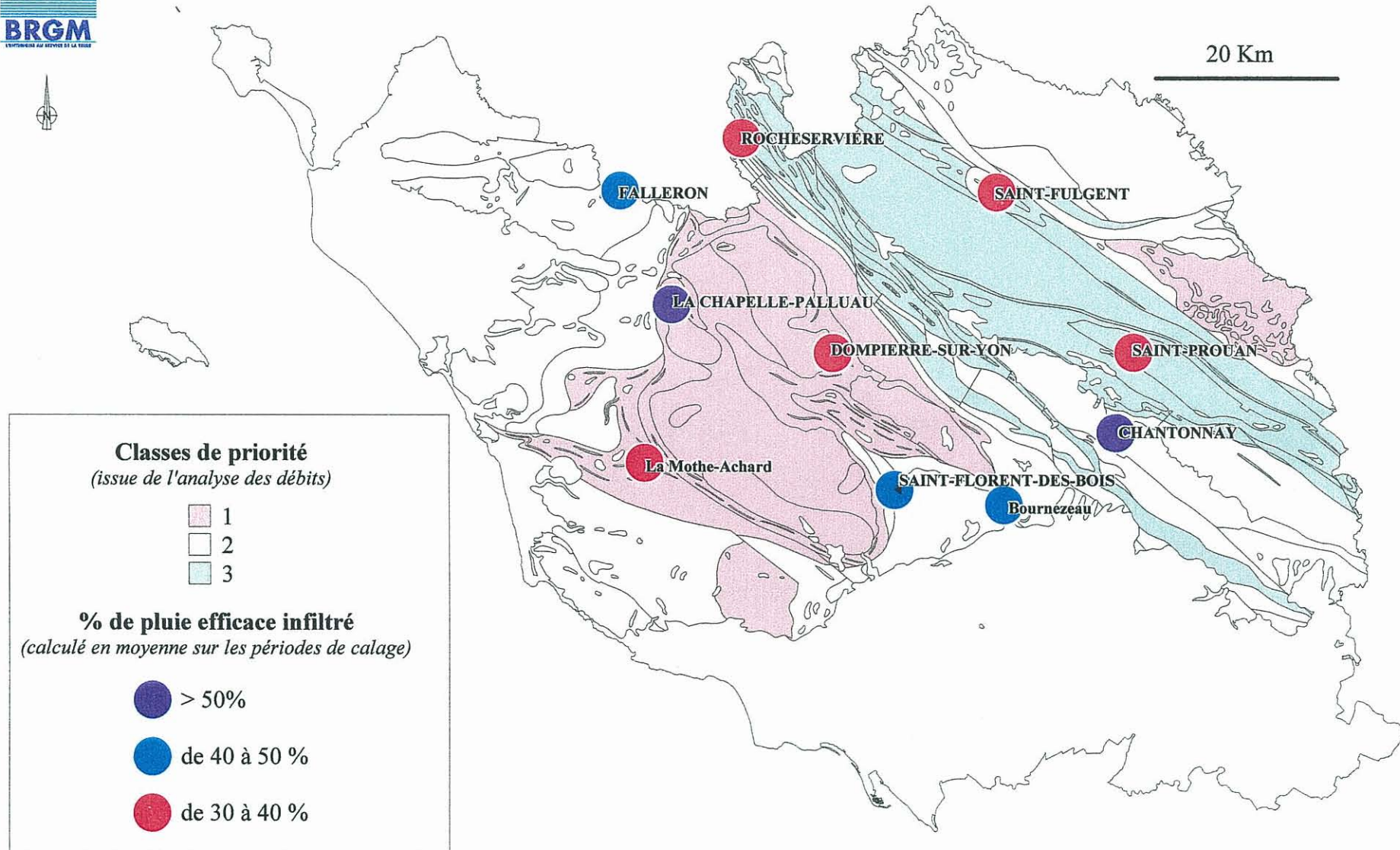


Données jaugeage : DIREN/SEMA 44  
Données piézo : CG 85  
Données météo : METEO FRANCE

**Figure 6.6. : Lames d'eau moyennes annuelles infiltrées**  
(calculées en moyenne annuelle sur les périodes de calage)



20 Km



**Classes de priorité**  
(issue de l'analyse des débits)

- 1
- 2
- 3

**% de pluie efficace infiltré**  
(calculé en moyenne sur les périodes de calage)

- > 50%
- de 40 à 50 %
- de 30 à 40 %

**Figure 6.7. : Répartition des pourcentages de pluie efficace infiltrés**  
(calculés en moyenne annuelle sur les périodes de calage)

Données jaugeage : DIREN/SEMA 44  
Données piézo : CG 85  
Données météo : METEO FRANCE

Bilans annuels calculés pour les années de pluviométrie minimale et maximale sur la période de calage (pour l'ajustement retenu)											
Station météo	Altitude (m)	Station de calage	Type	Période de calage		Pluie (mm)	ETR (mm)	Pluie efficace (mm)	Lame ruisselée (mm)	Lame infiltrée (mm)	% de pluie efficace infiltré
La Roche-sur-Yon	90	Dompierre-sur-Yon	débit	1986-1998	Min	660	457	158	61	65	41%
					Max	1107	524	583	384	192	33%
		Bournezeau	piézo	1993-1998	Min	697	466	232	133	112	48%
					Max	1107	505	602	384	203	34%
		St Florent-des-Bois	débit	1990-1998	Min	680	415	264	146	95	36%
					Max	1107	532	575	357	211	37%
La Mothe-Achard	50	La Mothe-Achard	piézo	1992-1998	Min	749	552	197	101	77	39%
					Max	1644	662	982	748	230	23%
Palluau	50	La Chapelle-Palluau	débit	1995-1998	Min	811	585	226	93	158	70%
					Max	1042	564	477	242	274	57%
		Falleron	débit	1991-1998	Min	811	520	290	178	147	51%
					Max	1215	521	694	443	240	35%
Rocheservière	45	Rocheservière	débit	1992-1997	Min	630	438	192	110	73	38%
					Max	923	496	427	289	135	32%
Chantonay	93	Chantonay	débit	1991-1998	Min	729	527	202	84	133	66%
					Max	1241	598	643	343	287	45%
Les Landes-Genusson	105	Saint-Fulgent	débit	1994-1998	Min	685	454	231	125	85	37%
					Max	1260	665	595	394	202	34%
Pouzauges	160	Saint-Prouan	débit	1991-1998	Min	692	439	255	159	124	49%
					Max	1391	617	775	509	245	32%

Tableau 6.4. : Bilans annuels calculés pour les années de pluviométrie minimale et maximale sur la période de calage (pour l'ajustement retenu)

## 6.4. ESTIMATION DES VOLUMES RAISONNABLEMENT UTILISABLES

### 6.4.1. De l'estimation de la recharge à celle des volumes exploitables : enjeux et difficultés

L'estimation de la recharge effectuée sur 10 points à l'aide du modèle GARDENIA, montre que la lame infiltrée varie entre 93 mm et 186 mm. A la lecture des cartes de synthèse 6.6. et 6.7., on constate qu'il n'y a pas de correspondance directe entre les lames d'eau infiltrées, les pourcentages de pluies efficaces infiltrées, et les zones à plus fortes potentialités de ressource que nous avons déterminées par l'analyse statistique sur les débits instantanés.

L'estimation des volumes raisonnablement exploitables sur les zones de socle des trois classes d'intérêt que nous avons identifiées par l'analyse des débits, passe par le calcul de lames infiltrées moyennes à l'échelle de ces zones, et par le choix de critères de volumes limites.

#### a) *Lame infiltrée moyenne*

- Les estimations de la recharge ont été effectuées sur des bassins versants particuliers. A l'échelle de petits bassins, le pourcentage de pluie efficace infiltré dépend beaucoup des pentes du bassin, qui favorisent plus ou moins le ruissellement ou l'infiltration. L'extrapolation des résultats obtenus sur les petits bassins à de plus grandes zones est toujours source d'erreurs. Dans le cas de la zone de priorité 2 par exemple, qui couvre une superficie de 1874,67 km<sup>2</sup>, les bassins versants sur lesquels la recharge a été estimée ne représentent qu'une surface de 210 km<sup>2</sup>, soit environ 11% de celle de la zone totale (cf. tableau 6.5.).
- Pour les 10 points choisis, les périodes de calage de la recharge ne sont pas exactement concomitantes. De plus, ces périodes sont relativement courtes, à l'échelle des variations climatiques interannuelles, pour que l'on puisse les considérer comme représentatives de réelles "moyennes".

#### b) *Critères d'estimation de volumes limites exploitables*

L'estimation des volumes de ressource disponibles et raisonnablement exploitables ne peut être qu'approximative, par manque de données chiffrées sur les impacts des futurs prélèvements.

- Tout prélèvement est un manque à gagner pour le cycle hydrologique, même si une partie des eaux est rendue au système après utilisation. Les nappes souterraines interviennent généralement en soutien d'étiage des cours d'eau. Les prélèvements en nappe souterraine peuvent avoir un impact particulièrement sensible en période d'étiage, même si cet impact est à priori moindre que dans le cas d'une prise d'eau directe dans le réseau de surface.

- On peut considérer que les prélèvements, en entraînant une baisse des niveaux piézométriques dans les couches altéritiques de surface, pourraient, dans une certaine mesure, favoriser l'infiltration des eaux de pluie, et donc augmenter le volume de la recharge. Ce concept, qui militerait pour la minimisation de l'impact des prélèvements sur la ressource, n'est cependant pas chiffré.

En prenant en référence les études menées sur le socle en Bretagne et en Mayenne, on peut considérer que l'exploitation de quelques % de la recharge moyenne annuelle des nappes est raisonnable en terme d'impact. Ce chiffre est à considérer comme un ordre de grandeur. Il faut bien noter que les contraintes techniques et économiques apporteront d'elles-mêmes des limites aux volumes exploitables.

#### **6.4.2. Quelques ordres de grandeur de volumes**

Nous avons estimé, pour chacune des trois zones de priorité identifiées par l'analyse des débits, la lame moyenne annuelle infiltrée. Elle est calculée comme la moyenne des différentes lames calculées aux points inclus dans la zone, pondérées par la surface de leurs bassins versants respectifs. Nous avons alors estimé les volumes disponibles, pour différents scénarios de prélèvements, représentant respectivement 1 %, 2,5 % et 5 % de la recharge.

Deux remarques concernant l'estimation de ces volumes :

- Les volumes sont calculés en pourcentage de la recharge. Ils ne tiennent pas compte des prélèvements déjà effectués dans les nappes, pour l'AEP, l'agriculture, et l'alimentation des particuliers (on peut cependant considérer que ces prélèvements sont en partie pris en compte au travers de leur impact sur les débits des cours d'eau et les niveaux piézométriques qui ont servi à calculer la recharge, mais ceci reste difficilement chiffrable).
- Ces volumes sont estimés d'après la recharge, donc sans préjuger de la faisabilité technique et économique de leur exploitation.

Comme nous l'avions dit dans la partie 6.3.4., il est justifié, au vu de l'inertie des phénomènes souterrains, de raisonner sur la recharge calculée en année moyenne. Une année sèche pourra être compensée par une année humide. Nous avons donc calculé une lame moyenne annuelle (correspondant à la moyenne des lames calculées sur les différentes périodes de calage des points). Les résultats sont donnés dans le tableau 6.5.. Cependant, pour évaluer la variabilité de la recharge, nous avons également estimé les volumes pour en année "sèche" et "humide", correspondant aux années de pluviométrie respectivement minimale et maximale disponibles sur les périodes de calage des différents points. Les résultats sont donnés tableaux 6.6. et 6.7..

					Année "moyenne" (correspondant à l'année moyenne calculée sur la période de calage)					
					Moyenne par station	Moyenne par classe d'intérêt (calculée comme la moyenne pondérée des stations par leurs bassins versants)				
Classe d'intérêt (issue de l'analyse des débits)	Surface (km <sup>2</sup> )	Station	BV (km <sup>2</sup> )	Période de calage	Lame infiltrée (mm)	Lame infiltrée (mm)	Volume recharge (Mm <sup>3</sup> )	Volume disponible (*) pour différents scénarios de prélèvement (Mm <sup>3</sup> )		
								1% de la recharge	2,5% de la recharge	5% de la recharge
1	1217,86	Dompierre-sur-Yon	42	1986-1998	127	152	184,818	1,848	4,620	9,241
		La Chapelle-Palluau	118	1995-1998	186					
		La Mothe-Achard	*	1992-1998	133					
2	1874,67	Falleron	31	1991-1998	170	142	266,877	2,669	6,672	13,344
		Saint-Florent-des-Bois	48	1990-1998	133					
		Saint-Fulgent	131	1994-1998	127					
		Bournezeau	*	1993-1998	150					
3	1024,4	Chantonay	120	1991-1998	173	134	136,762	1,368	3,419	6,838
		Rocheservière	193	1992-1997	93					
		Saint-Prouan	131	1991-1998	157					
						<b>Total sur les 3 classes d'intérêt (Mm<sup>3</sup>)</b>	588,457	5,885	14,711	29,423

(\*) en ne tenant pas compte des prélèvements déjà effectués (agriculture, AEP, particuliers, ...)

**Tableau 6.5. : Estimation des volumes "disponibles" calculés en année "moyenne" (correspondant à l'année moyenne calculée sur la période de calage)**

					Année "sèche" (correspondant à l'année de pluviométrie minimale sur la période de calage)					
					Moyenne par station	Moyenne par classe d'intérêt (calculée comme la moyenne pondérée des stations par leurs bassins versants)				
Classe d'intérêt (issue de l'analyse des débits)	Surface (km <sup>2</sup> )	Station	BV (km <sup>2</sup> )	Période de calage	Lame infiltrée (mm)	Lame infiltrée (mm)	Volume recharge (Mm <sup>3</sup> )	Volume disponible (*) pour différents scénarios de prélèvement (Mm <sup>3</sup> )		
								1% de la recharge	2,5% de la recharge	5% de la recharge
1	1217,86	Dompierre-sur-Yon	42	1986-1998	65	105	128,233	1,282	3,206	6,412
		La Chapelle-Palluau	118	1995-1998	158					
		La Mothe-Achard	*	1992-1998	77					
2	1874,67	Falleron	31	1991-1998	147	104	195,376	1,954	4,884	9,769
		Saint-Florent-des-Bois	48	1990-1998	95					
		Saint-Fulgent	131	1994-1998	85					
		Bournezeau	*	1993-1998	112					
3	1024,4	Chantonay	120	1991-1998	133	104	106,808	1,068	2,670	5,340
		Rocheservière	193	1992-1997	73					
		Saint-Prouan	131	1991-1998	124					
					<b>Total sur les 3 classes d'intérêt (Mm<sup>3</sup>)</b>		430,417	4,304	10,760	21,521

(\*) en ne tenant pas compte des prélèvements déjà effectués (agriculture, AEP, particuliers, ...)

Tableau 6.6. : Estimation des volumes "disponibles" calculés en année "sèche" (correspondant à l'année de pluviométrie minimale sur la période de calage)

					Année "humide" (correspondant à l'année de pluviométrie maximale sur la période de calage)					
					Moyenne par station	Moyenne par classe d'intérêt (calculée comme la moyenne pondérée des stations par leurs bassins versants)				
Classe d'intérêt (issue de l'analyse des débits)	Surface (km2)	Station	BV (km2)	Période de calage	Lame infiltrée (mm)	Lame infiltrée (mm)	Volume recharge (Mm3)	Volume disponible (*) pour différents scénarios de prélèvement (Mm3)		
								1% de la recharge	2,5% de la recharge	5% de la recharge
1	1217,86	Dompierre-sur-Yon	42	1986-1998	192	241	293,794	2,938	7,345	14,690
		La Chapelle-Palluau	118	1995-1998	274					
		La Mothe-Achard	*	1992-1998	230					
2	1874,67	Falleron	31	1991-1998	240	206	386,807	3,868	9,670	19,340
		Saint-Florent-des-Bois	48	1990-1998	211					
		Saint-Fulgent	131	1994-1998	202					
		Bournezeau	*	1993-1998	203					
3	1024,4	Chantonay	120	1991-1998	287	209	213,624	2,136	5,341	10,681
		Rocheservière	193	1992-1997	135					
		Saint-Prouan	131	1991-1998	245					
					<b>Total sur les 3 classes d'intérêt (Mm3)</b>		894,225	8,942	22,356	44,711

(\*) en ne tenant pas compte des prélèvements déjà effectués (agriculture, AEP, particuliers,...)

**Tableau 6.7. : Estimation des volumes "disponibles" calculés en année "humide" (correspondant à l'année de pluviométrie maximale sur la période de calage)**

En année moyenne, dans le cas de l'hypothèse basse du prélèvement de 1 % de la recharge, le volume disponible sur la seule zone d'intérêt prioritaire serait de l'ordre de 1,848 Mm<sup>3</sup>, donc de l'ordre du volume d'eau potable actuellement prélevé en forage sur le département. En considérant la somme des zones de priorités 1 et 2, ce volume serait de l'ordre de 4,517 Mm<sup>3</sup>. Dans le cadre de l'exploitation de 2,5 % de la recharge, le volume disponible sur la seule zone de priorité 1 serait de l'ordre de 4,620 Mm<sup>3</sup>.

Ces chiffres, même s'ils doivent être interprétés comme des ordres de grandeur, indiquent que l'exploitation de l'eau souterraine de socle peut permettre de diversifier la provenance de la ressource en eau du département de façon non négligeable en terme de volume.

## Conclusions

Les aquifères des formations de socle, qui couvrent la majeure partie du département de Vendée, peuvent concourir à leur mesure à la diversification de la ressource en eau.

L'analyse statistique sur les débits instantanés des formations de socle, sur la base de regroupements de lithologies identifiées sur la carte géologique au 1/250000<sup>ème</sup>, a permis de mettre en évidence les formations à plus fortes probabilités de ressource en eau souterraine.

Le domaine de la Roche-sur-Yon apparaît prioritaire, avec l'unité granitique, et les micaschistes et schistes du groupe de Nieu-le-Dolent. Le massif de granite de Pouzauges donne également des résultats intéressants.

La modélisation de la recharge sur 10 points de contrôle avec le modèle global GARDENIA montre une variabilité spatiale des pluies efficaces et de la part de ces pluies qui concoure à l'alimentation des nappes d'eau souterraine. En moyenne sur les 10 stations où la recharge a été estimée (sur des périodes non exactement concomitantes toutefois), la lame infiltrée est de 145 mm, ce qui représente en moyenne 41% de pluies efficaces infiltrées. L'exploitation de quelques % de cette ressource peut être raisonnablement envisagée pour l'alimentation en eau potable. Dans l'hypothèse de l'utilisation de 1% de cette ressource (hypothèse basse), le volume exploitable sur la seule zone de priorité 1 pourrait être de l'ordre du volume d'eau potable actuellement issu des captages (pour tout le département de la Vendée). Les volumes ne sont donc pas négligeables.

Les caractéristiques statistiques des formations identifiées ont été calculées sur des ouvrages pour la majeure partie à vocation agricole ou de particuliers, implantés sans étude préalable approfondie, et de profondeurs moyennes (arrêtés une fois l'objectif de débit fixé atteint). Dans le cas de l'implantation de nouveaux forages, les probabilités d'obtenir des productivités intéressantes pour l'exploitation pourraient être augmentées en entreprenant des études complémentaires pour optimiser l'implantation : études géophysiques, étude de la fracturation, études plus approfondies sur les horizons d'altération (altérites meubles et horizons fissurés), et en atteignant des profondeurs plus importantes (de l'ordre de la centaine de mètres).

## Bibliographie

- Daum J.R., Desprats J.F., Durand F. (1996), Précipitations efficaces moyennes annuelles en France (1965-1994). Rap. BRGM R 38975.
- Daum J.R. (1998), Une nouvelle approche pour l'estimation des apportes aux systèmes aquifères à partir des précipitations efficaces calculées en France. *Cinquième journée technique du Comité français de l'AIH, Strasbourg, 27 Novembre 1998*, p. 85-88.
- Detay M. (1985), Analyse statistique des paramètres hydrogéologiques de la première campagne de forages dans le sud-ouest gabonais. *Bulletin de liaison du CICH*, n° 60, Avril 1985.
- Detay M. & al. (1989), Influence du développement du réservoir capacitif des altérites et de son état de saturation sur les caractéristiques hydrodynamiques en zone de socle cristallin. *C. R. Acad. Sci. Paris*, t. 309, Série II, p. 429-436, 1989.
- Detay M., Doutambaye C. (1989), Hydrogéologie statistique du socle précambrien de la République Centrafricaine. Principaux résultats du programme d'hydraulique villageoise en zone cotonnière. *Bulletin de liaison du CICH*, n°76, Avril 1989.
- Duermael G. (1997), Ressources en eau profonde de qualité et dénitrification naturelle en Mayenne. Rap. BRGM R 39643.
- Petit V. en collaboration avec Bérard P., Lachassagne P., Lemordant Y. et Talbo H. (1998), Les périmètres de protection en milieu fissuré. Exemples et principe d'application. Rap. BRGM R 40289, 55 p.
- Talbo H. (1978), Eléments d'hydrogéologie des roches fissurées. Forage par battage rapide à l'air comprimé. Remarques à propos des débits obtenus par émulsion en cours de travaux. Rap. BRGM BPL 78-33.
- Talbo H., Duermael G. (1995), Contribution à l'actualisation du schéma régional d'alimentation en eau potable. Nouvelles ressources en eau souterraine potentiellement mobilisables. Rap. BRGM R 38264.
- Wyns R. (1999), Cartographie quantitative de la ressource en eau souterraine. Carte à 1/50000 PLABENNEC-EST (Finistère Nord). Rap. BRGM R 40519, 23 p..

## **A n n e x e s**

## **Annexe 1**

### **Liste des communes de Vendée**

N°Insec	Nom commune	N°Insec	Nom commune
85001	L'AIGUILLON-SUR-MER	85046	LA CHAIZE-LE-VICOMTE
85002	L'AIGUILLON-SUR-VIE	85047	CHALLANS
85003	AIZENAY	85048	CHAMBRETAUD
85004	ANGLES	85049	CHAMPAGNE-LÈS-MARAIS
85005	ANTIGNY	85050	LE CHAMP-SAINT-PERE
85006	APREMONT	85051	CHANTONNAY
85008	AUBIGNY	85051	CHANTONNAY
85009	AUZAY	85052	LA CHAPELLE-ACHARD
85010	AVRILLE	85053	LA CHAPELLE-AUX-LYS
85011	BARBATRE	85054	LA CHAPELLE-HERMIER
85012	LA BARRE-DE-MONTS	85055	LA CHAPELLE-PALLUAU
85013	BAZOGES-EN-PAILLERS	85056	LA CHAPELLE-THEMER
85014	BAZOGES-EN-PAREDS	85058	CHASNAIS
85015	BEAUFOU	85059	LA CHATAIGNERAIE
85016	BEAULIEU-SOUS-LA-ROCHE	85060	CHATEAU-D'OLONNE
85017	BEAUREPAIRE	85061	CHATEAU-GUIBERT
85018	BEAUVOIR-SUR-MER	85062	CHATEAUNEUF
85019	BELLEVILLE-SUR-VIE	85063	LES CHATELLIERS-CHATEAUMUR
85020	BENET	85064	CHAUCHE
85020	BENET	85065	CHAVAGNES-EN-PAILLERS
85020	BENET	85066	CHAVAGNES-LES-REDOUX
85021	LA BERNARDIERE	85067	CHEFFOIS
85022	LE BERNARD	85068	LA CLAYE
85023	BESSAY	85069	LES CLOUZEUX
85024	BOIS-DE-CENE	85070	COEX
85025	LA BOISSIERE-DE-MONTAIGU	85071	COMMEQUIERS
85026	LA BOISSIERE-DES-LANDES	85072	LA COPECHAGNIERE
85027	BOUFFERE	85073	CORPE
85028	BOUILLE-COURDAULT	85074	LA COUTURE
85029	BOUIN	85076	CUGAND
85030	BOULOGNE	85077	CURZON
85031	LE BOUPERE	85078	DAMVIX
85033	BOURNEAU	85080	DOIX
85034	BOURNEZEAU	85081	DOMPIERRE-SUR-YON
85034	BOURNEZEAU	85082	LES EPESSES
85035	BRETIGNOLLES-SUR-MER	85083	L'EPINE
85036	LA BRETONNIERE	85084	LES ESSARTS
85037	BREUIL-BARRET	85086	FALLERON
85038	LES BROUZILS	85087	FAYMOREAU
85039	LA BRUFFIERE	85088	LE FENOILLER
85040	LA CAILLERE-SAINT-HILAIRE	85089	LA FERRIERE
85040	LA CAILLERE-SAINT-HILAIRE	85090	LA FLOCELLIERE
85041	CEZAIS	85091	FONTAINES
85042	CHAILLE-LES-MARAIS	85092	FONTENAY-LE-COMTE
85043	CHAILLE-SOUS-LES-ORMEAUX	85093	FOUGERE
85044	CHAIX	85094	FOUSSAIS-PAYRE
85045	LA CHAIZE-GIRAUD	85095	FROIDFOND

N°Insee	Nom commune	N°Insee	Nom commune
85096	LA GARNACHE	85147	MONTOURNAIS
85097	LA GAUBRETIERE	85148	MONTREUIL
85098	LA GENETOUZE	85149	MOREILLES
85099	LE GIROUARD	85150	MORMAISON
85100	GIVRAND	85151	MORTAGNE-SUR-SEVRE
85101	LE GIVRE	85151	MORTAGNE-SUR-SEVRE
85102	GRAND'LANDES	85152	LA MOTHE-ACHARD
85103	GROSBREUIL	85153	MOUCHAMPS
85104	GRUES	85154	MOUILLERON-EN-PAREDS
85105	LE GUE-DE-VELLUIRE	85155	MOUILLERON-LE-CAPTIF
85106	LA GUERINIERE	85156	MOUTIERS-LES-MAUXFAITS
85107	LA GUYONNIERE	85157	MOUTIERS-SUR-LE-LAY
85108	L'HERBERGEMENT	85158	MOUZEUIL-SAINTE-MARTIN
85109	LES HERBIERS	85159	NALLIERS
85110	L'HERMENAULT	85160	NESMY
85111	L'ILE-D'ELLE	85161	NIEUL-LE-DOLENT
85112	L'ILE-D'OLONNE	85162	NIEUL-SUR-L'AUTISE
85113	L'ILE-D'YEU	85163	NOIRMOUTIER-EN-L'ILE
85114	JARD-SUR-MER	85163	NOIRMOUTIER-EN-L'ILE
85115	LA JAUDONNIERE	85164	NOTRE-DAME-DE-MONTS
85116	LA JONCHERE	85165	L'OIE
85117	LAIROUX	85166	OLONNE-SUR-MER
85118	LANDERONDE	85167	L'ORBRIE
85119	LES LANDES-GENUSSON	85168	OULMES
85120	LANDEVIEILLE	85169	PALLUAU
85121	LE LANGON	85171	PEAULT
85123	LIEZ	85172	LE PERRIER
85125	LOGE-FOUGEREUSE	85174	PETOSSE
85126	LONGEVES	85175	LES PINEAUX
85127	LONGEVILLE-SUR-MER	85176	PISSOTTE
85128	LUCON	85177	LE POIRE-SUR-VELLUIRE
85128	LUCON	85178	LE POIRE-SUR-VIE
85129	LES LUCS-SUR-BOULOGNE	85179	POIROUX
85130	MACHE	85180	LA POMMERAIE-SUR-SEVRE
85131	LES MAGNILS-REIGNIERS	85181	POUILLE
85132	MAILLE	85182	POUZAUGES
85133	MAILLEZAIS	85184	PUY-DE-SERRE
85134	MALLIEVRE	85185	PUYRAVAULT
85135	MAREUIL-SUR-LAY-DISSAIS	85186	LA RABATELIERE
85135	MAREUIL-SUR-LAY-DISSAIS	85187	REAUMUR
85136	MARILLET	85188	LA REORTHE
85137	MARSAIS-SAINTE-RADEGONDE	85189	NOTRE-DAME-DE-RIEZ
85138	MARTINET	85190	ROCHESERVIERE
85139	LE MAZEAU	85191	LA ROCHE-SUR-YON
85140	LA MEILLERAIE-TILLAY	85192	ROCHETREJOUX
85141	MENOMBLET	85193	ROSNAY
85142	LA MERLATIERE	85194	LES SABLES-D'OLONNE
85143	MERVENT	85196	SAINTE-ANDRE-GOULE-D'OIE
85144	MESNARD-LA-BAROTIERE	85197	SAINTE-ANDRE-TREIZE-VOIES
85145		85198	SAINTE-AUBIN-DES-ORMEAUX

N°Insee	Nom commune	N°Insee	Nom commune
85146	MONSIREIGNE	85199	SAINT-AUBIN-LA-PLAINE
85200	MONTAIGU	85255	SAINT-MICHEL-EN-L'HERM
85201	SAINT-BENOIST-SUR-MER	85256	SAINT-MICHEL-LE-CLOUCQ
85202	SAINTE-CECILE	85257	SAINT-MICHEL-MONT-MERCURE
85204	SAINT-CHRISTOPHE-DU-LIGNERON	85259	SAINT-PAUL-EN-PAREDS
85205	SAINT-CYR-DES-GATS	85260	SAINT-PAUL-MONT-PENIT
85206	SAINT-CYR-EN-TALMONDAIS	85261	SAINTE-PEXINE
85207	SAINT-DENIS-DU-PAYRE	85262	SAINT-PHILBERT-DE-BOUAINE
85208	SAINT-DENIS-LA-CHEVASSE	85264	SAINT-PIERRE-DU-CHEMIN
85209	SAINT-ETIENNE-DE-BRILLOUET	85265	SAINT-PIERRE-LE-VIEUX
85210	SAINT-ETIENNE-DU-BOIS	85266	SAINT-PROUANT
85211	SAINTE-FLAIVE-DES-LOUPS	85267	SAINTE-RADEGONDE-DES-NOYERS
85212	SAINTE-FLORENCE	85268	SAINT-REVEREND
85213	SAINT-FLORENT-DES-BOIS	85269	SAINT-SIGISMOND
85214	SAINTE-FOY	85271	SAINT-SULPICE-EN-PAREDS
85215	SAINT-FULGENT	85272	SAINT-SULPICE-LE-VERDON
85216	SAINTE-GEMME-LA-PLAINE	85273	SAINT-URBAIN
85217	SAINT-GEORGES-DE-MONTAIGU	85274	SAINT-VALERIEN
85218	SAINT-GEORGES-DE-POINTINDOUX	85276	SAINT-VINCENT-STERLANGES
85219	SAINT-GERMAIN-L'AIGUILLER	85277	SAINT-VINCENT-SUR-GRAON
85220	SAINT-GERMAIN-DE-PRINCAV	85277	SAINT-VINCENT-SUR-GRAON
85221	SAINT-GERVAIS	85278	SAINT-VINCENT-SUR-JARD
85222	SAINT-GILLES-CROIX-DE-VIE	85279	SALIGNY
85223	SAINTE-HERMINE	85280	SALLERTAINE
85224	SAINT-HILAIRE-DE-LOULAY	85281	SERIGNE
85226	SAINT-HILAIRE-DE-RIEZ	85282	SIGOURNAIS
85227	SAINT-HILAIRE-DES-LOGES	85284	SOULLANS
85229	SAINT-HILAIRE-DE-VOUST	85285	LE TABLIER
85231	SAINT-HILAIRE-LA-FORET	85286	LA TAILLEE
85232	SAINT-HILAIRE-LE-VOUHIS	85287	TALLUD-SAINTE-GEMME
85233	SAINT-JEAN-DE-BEUGNE	85288	TALMONT-SAINT-HILAIRE
85234	SAINT-JEAN-DE-MONTS	85289	LA TARDIERE
85235	SAINT-JUIRE-CHAMPGILLON	85290	THIRE
85236	SAINT-JULIEN-DES-LANDES	85291	THORIGNY
85237	SAINT-LAURENT-DE-LA-SALLE	85292	THOUARSAIS-BOULDROUX
85238	SAINT-LAURENT-SUR-SEVRE	85293	TIFFAUGES
85239	SAINT-MAIXENT-SUR-VIE	85294	LA TRANCHE-SUR-MER
85240	SAINT-MALO-DU-BOIS	85295	TREIZE-SEPTIERS
85242	SAINT-MARS-LA-REORTHE	85296	TREIZE-VENTS
85243	BREM-SUR-MER	85297	TRIAIZE
85243	BREM-SUR-MER	85298	VAIRE
85244	SAINT-MARTIN-DE-FRAIGNEAU	85299	VELLUIRE
85245	SAINT-MARTIN-DES-FONTAINES	85300	VENANSAULT
85246	SAINT-MARTIN-DES-NOYERS	85301	VENDRENNES
85247	SAINT-MARTIN-DES-TILLEULS	85302	LA VERRIE
85248	SAINT-MARTIN-LARS-EN-SAINTE-HERMINE	85303	VIX
85250	SAINT-MATHURIN	85304	VOUILLE-LES-MARAIS
85251	SAINT-AURICE-DES-NOUES	85305	VOUVANT
85252	SAINT-AURICE-LE-GIRARD	85306	XANTON-CHASSENON
85254	SAINT-MESMIN	85307	LA FAUTE-SUR-MER

## **Annexe 2**

### **Détail des résultats statistiques**

---

*Annexe 2*  
*Détail des résultats statistiques par formations*

Lithologie et unités	Domaine	Grande formation	Nombre de points	Profondeur moyenne (m)	Ecart-type profondeur (m)	Profondeur maximale (m)	Profondeur de Q max (m)
granite de la Roche-sur-Yon	La Roche-sur-Yon	granites et assimilés	123	58	23	122	100
micaschistes du gp de Nieu-le-Dolent	La Roche-sur-Yon	méta-sédiments	46	50	20	85	56
schistes noirs du gp de Nieu-le-Dolent	La Roche-sur-Yon	méta-sédiments	51	53	18	80	70
granite de Pouzauges	Haut-Bocage	granites et assimilés	86	37	23	160	54
schistes et micaschistes de Saint-Gilles	Bas-Bocage	méta-sédiments	44	61	32	160	83
micaschistes du gp des Sables d'Olonne	La Roche-sur-Yon	méta-sédiments	8	45	13	65	40
amphibolites du Bas Bocage	Bas-Bocage	amphibolites	30	37	21	90	79
granite de Mortagne	Haut-Bocage	granites et assimilés	182	50	23	115	55
schistes ardoisiers, quartzites	La Roche-sur-Yon	méta-sédiments	16	49	19	90	35
schistes et micaschistes du Haut Bocage	Haut-Bocage	méta-sédiments	51	49	26	120	nc
porphyroïdes de Vendée	Bas-Bocage	porphyroïdes	41	61	30	173	77
schistes, grès, conglomérats du gp de la Sigournais	Chantonnay	socle sédimentaire	17	43	14	65	31
orthoigneiss de Montaigu	Saint-Nazaire	granites et assimilés	12	54	30	128	128
schistes, grès, grauwackes du gp de Saint Fulgent	Chantonnay	socle sédimentaire	124	42	15	100	100
orthoigneiss de Mervent	Bas-Bocage	granites et assimilés	19	39	19	87	31
paragneiss, ensemble migmatique de l'unité des Herbiers	Haut-Bocage	granites et assimilés	31	49	24	100	100
schistes, grès, quartzites du gp de Réaumur	Chantonnay	socle sédimentaire	55	39	20	106	15
amphibolites de Montaigu	Chantonnay	amphibolites	21	44	26	128	128
amphibolites des Essarts	Les Essarts	amphibolites	16	34	20	82	48
roches volcaniques	Chantonnay	volcaniques	20	35	20	77	20
orthoigneiss des Essarts	Les Essarts	granites et assimilés	36	36	16	90	34
schistes et micaschistes de Chantonnay	Chantonnay	méta-sédiments	40	42	18	100	37

Annexe 2

Détail des résultats statistiques par formations

Lithologie et unités	Profondeur des forages de débit $\geq 10 \text{ m}^3/\text{h}$ (m)	Profondeur des 25% des meilleurs forages (m)	Débit maxi ( $\text{m}^3/\text{h}$ )	Débit mini ( $\text{m}^3/\text{h}$ )	Débit moyen ( $\text{m}^3/\text{h}$ )	Ecart-type ( $\text{m}^3/\text{h}$ )	Coefficient de variation
granite de la Roche-sur-Yon	68	69	153,0	0,0	12,8	22,9	1,79
micaschistes du gp de Nieu-le-Dolent	51	57	40,0	0,2	9,1	10,8	1,19
schistes noirs du gp de Nieu-le-Dolent	59	58	72,0	0,0	9,1	12,1	1,33
granite de Pouzauges	59	51	100,0	0,0	6,9	12,8	1,85
schistes et micaschistes de Saint-Gilles	70	67	60,0	0,0	5,1	9,8	1,91
micaschistes du gp des Sables d'Olonne	40	43	30,0	0,5	5,2	10,1	1,95
amphibolites du Bas Bocage	62	51	50,0	0,0	4,9	9,4	1,92
granite de Mortagne	50	55	150,0	0,0	5,5	16,1	2,92
schistes ardoisiers, quartzites	37	35	30,0	0,0	4,3	7,6	1,74
schistes et micaschistes du Haut Bocage	46	46	40,0	0,0	4,4	8,0	1,82
porphyroïdes de Vendée	84	78	17,8	0,0	4,4	4,2	0,95
schistes, grès, conglomérats du gp de la Sigournais	33	30	20,0	0,0	3,4	5,5	1,60
orthogneiss de Montaigu	128	82	15,0	0,1	4,2	4,3	1,02
schistes, grès, grauwackes du gp de Saint Fulgent	55	49	34,0	0,0	3,3	4,7	1,40
orthogneiss de Mervent	31	50	40,0	0,0	4,3	9,0	2,06
paragneiss, ensemble migmatique de l'unité des Herbiers	93	76	25,0	0,0	3,8	5,2	1,37
schistes, grès, quartzites du gp de Réaumur	28	39	62,5	0,0	3,5	9,3	2,65
amphibolites de Montaigu	128	53	27,0	0,4	4,5	5,8	1,28
amphibolites des Essarts	48	44	10,5	0,0	3,4	3,5	1,05
roches volcaniques	20	23	30,0	0,1	3,2	6,5	2,00
orthogneiss des Essarts	25	38	20,0	0,0	3,0	4,0	1,33
schistes et micaschistes de Chantonnay	37	50	18,0	0,0	2,2	3,3	1,54

*Annexe 2*  
*Détail des résultats statistiques par formations*

Lithologie et unités	% de forages de débit $\geq 10$ m <sup>3</sup> /h (m <sup>3</sup> /h)	Débit moyen des forages $>10$ m <sup>3</sup> /h (m <sup>3</sup> /h)	Débit moyen des 25% des meilleurs forages (m <sup>3</sup> /h)	Indice global	Classes d'intérêt	Critères des classes
granite de la Roche-sur-Yon	33%	31,9	38,4	12,794	1	Q > 20 m <sup>3</sup> /h et % > 20
micaschistes du gp de Nieu-le-Dolent	33%	21,5	25,1	8,179		
schistes noirs du gp de Nieu-le-Dolent	27%	23,1	24,1	6,626		
granite de Pouzauges	20%	24,5	21,4	4,235		
schistes et micaschistes de Saint-Gilles	16%	21,0	15,6	2,488	2	Q > 10 m <sup>3</sup> /h
micaschistes du gp des Sables d'Olonne	13%	30,0	17,0	2,125		
amphibolites du Bas Bocage	13%	22,6	15,2	2,027		
granite de Mortagne	9%	40,0	18,2	1,704		
schistes ardoisiers, quartzites	13%	21,3	13,6	1,703		
schistes et micaschistes du Haut Bocage	12%	23,9	13,7	1,605		
porphyroïdes de Vendée	15%	12,3	10,4	1,519		
schistes, grès, conglomérats du gp de la Sigournais	12%	17,2	10,6	1,247		
orthogneiss de Montaigu	8%	15,0	10,0	0,830		
schistes, grès, grauwackes du gp de Saint Fulgent	9%	15,3	9,3	0,820		
orthogneiss de Mervent	5%	40,0	13,0	0,685	3	% < 10
paragneiss, ensemble migmatique de l'unité des Herbiers	6%	20,5	10,2	0,660		
schistes, grès, quartzites du gp de Réaumur	5%	35,8	11,6	0,630		
amphibolites de Montaigu	5%	21,0	11,2	0,535		
amphibolites des Essarts	6%	10,5	8,4	0,527		
roches volcaniques	5%	30,0	9,5	0,473		
orthogneiss des Essarts	6%	15,0	8,3	0,458		
schistes et micaschistes de Chantonnay	3%	18,0	6,3	0,158		

*Annexe 2*

*Détail des résultats statistiques par formations*

Lithologie et unités	Débit linéaire moyen		Débit linéaire max		Débit linéaire des forages >= 10 m3/h		Débit linéaire des 25 % des meilleurs forages	
	(m <sup>3</sup> /h/m)	(m <sup>2</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /h/m)	(m <sup>2</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /h/m)	(m <sup>2</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /h/m)	(m <sup>2</sup> /s)
granite de la Roche-sur-Yon	0,224	6,22E-05	2,330	6,47E-04	0,520	1,45E-04	0,622	1,73E-04
micaschistes du gp de Nieu-le-Dolent	0,199	5,53E-05	0,857	2,38E-04	0,470	1,31E-04	0,479	1,33E-04
schistes noirs du gp de Nieu-le-Dolent	0,175	4,86E-05	1,028	2,86E-04	0,421	1,17E-04	0,443	1,23E-04
granite de Pouzauges	0,501	1,39E-04	1,850	5,14E-04	0,400	1,11E-04	0,486	1,35E-04
schistes et micaschistes de Saint-Gilles	0,084	2,34E-05	0,727	2,02E-04	0,314	8,73E-05	0,241	6,69E-05
micaschistes du gp des Sables d'Olonne	0,126	3,50E-05	0,750	2,08E-04	0,750	2,08E-04	0,419	1,17E-04
amphibolites du Bas Bocage	0,124	3,46E-05	0,720	2,00E-04	0,423	1,17E-04	0,312	8,68E-05
granite de Mortagne	0,137	3,80E-05	2,727	7,58E-04	0,986	2,74E-04	0,447	1,24E-04
schistes ardoisiers, quartzites	0,117	3,25E-05	1,700	4,72E-04	0,593	1,65E-04	0,387	1,08E-04
schistes et micaschistes du Haut Bocage	0,149	4,14E-05	4,000	1,11E-03	1,190	3,31E-04	0,525	1,46E-04
porphyroïdes de Vendée	0,074	2,06E-05	0,314	8,72E-05	0,175	4,87E-05	0,154	4,27E-05
schistes, grès, conglomérats du gp de la Sigournais	0,101	2,82E-05	0,645	1,79E-04	0,534	1,48E-04	0,410	1,14E-04
orthogneiss de Montaigu	0,073	2,01E-05	0,138	3,83E-05	0,117	3,25E-05	0,124	3,44E-05
schistes, grès, grauwackes du gp de Saint Fulgent	0,081	2,25E-05	0,720	2,00E-04	0,327	9,08E-05	0,207	5,75E-05
orthogneiss de Mervent	0,125	3,47E-05	1,290	3,58E-04	1,290	3,58E-04	0,415	1,15E-04
paragneiss, ensemble migmatique de l'unité des Herbiers	0,073	2,01E-05	0,296	8,22E-05	0,218	6,06E-05	0,147	4,08E-05
schistes, grès, quartzites du gp de Réaumur	0,158	4,38E-05	4,166	1,16E-03	1,948	5,41E-04	0,547	1,52E-04
amphibolites de Montaigu	0,112	3,11E-05	0,360	1,00E-04	0,211	5,86E-05	0,231	6,42E-05
amphibolites des Essarts	0,103	2,85E-05	0,300	8,33E-05	0,219	6,08E-05	0,213	5,92E-05
roches volcaniques	0,158	4,38E-05	1,500	4,17E-04	1,500	4,17E-04	0,465	1,29E-04
orthogneiss des Essarts	0,101	2,80E-05	0,666	1,85E-04	0,627	1,74E-04	0,278	7,72E-05
schistes et micaschistes de Chantonay	0,057	1,57E-05	0,486	1,35E-04	0,486	1,35E-04	0,156	4,33E-05

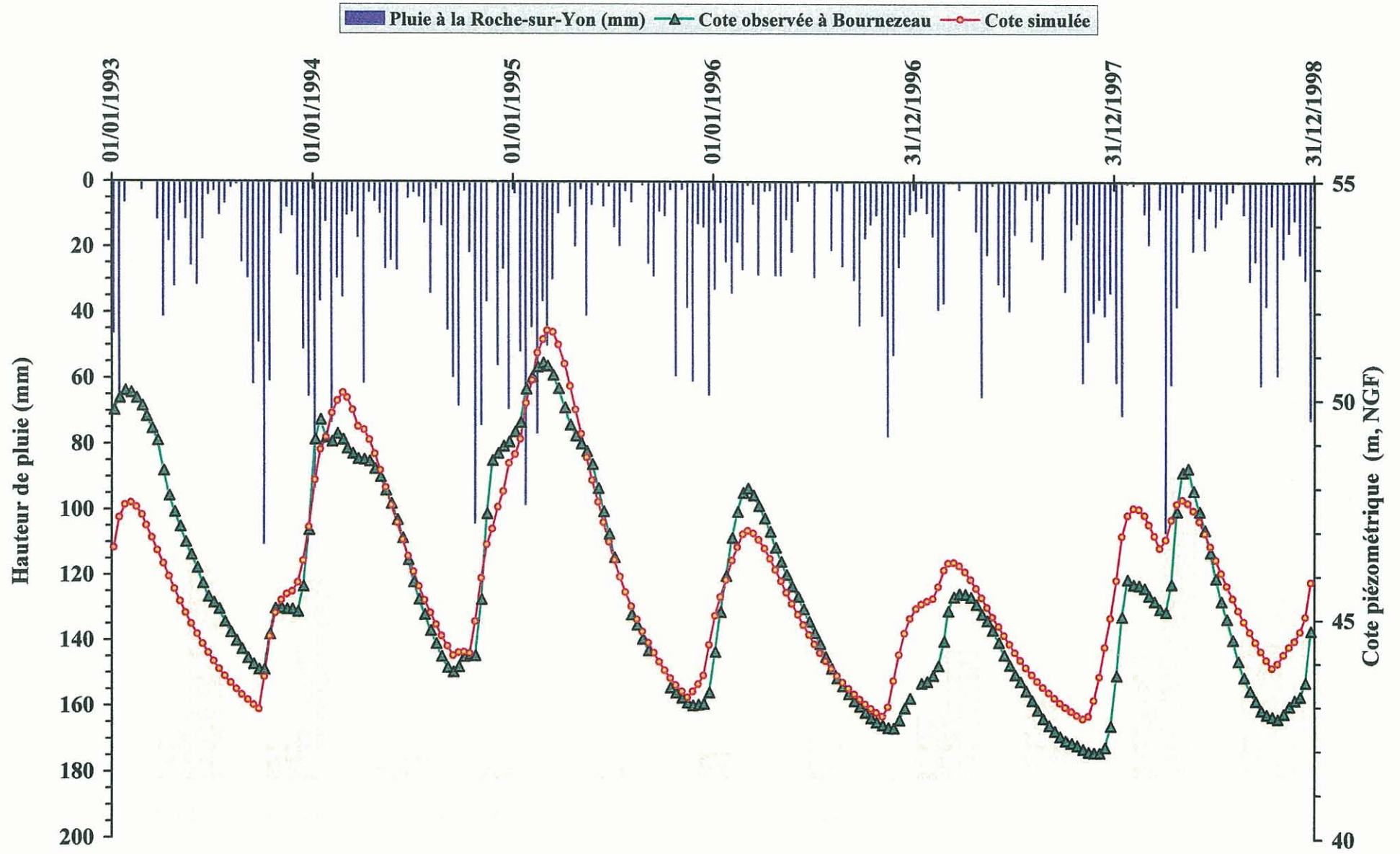
## **Annexe 3**

### **Résultats de calage pour l'estimation de la recharge avec le modèle GARDENIA**

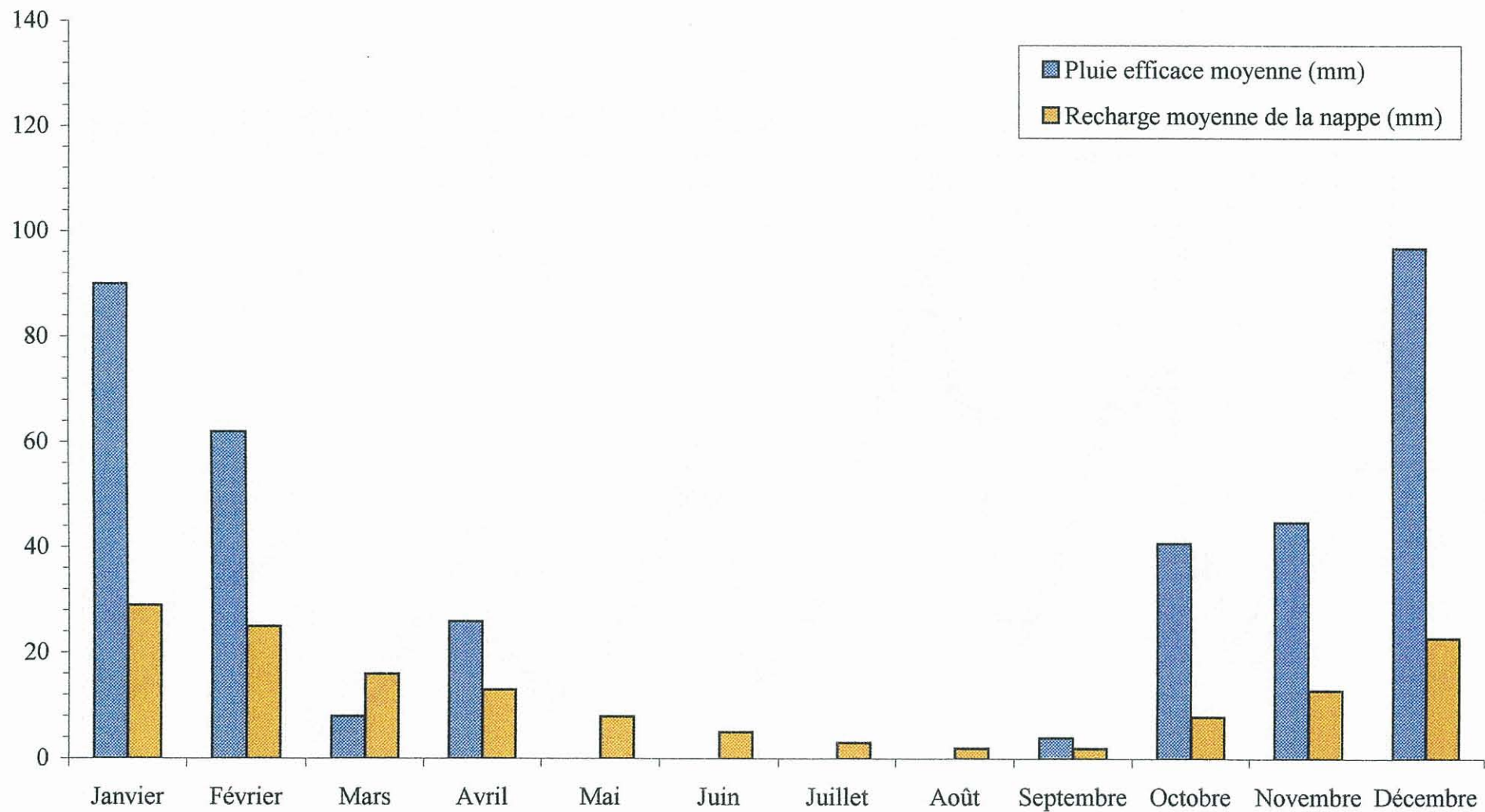
---

Cette annexe présente, pour les dix points ayant servi au calage de la recharge, les résultats suivants :

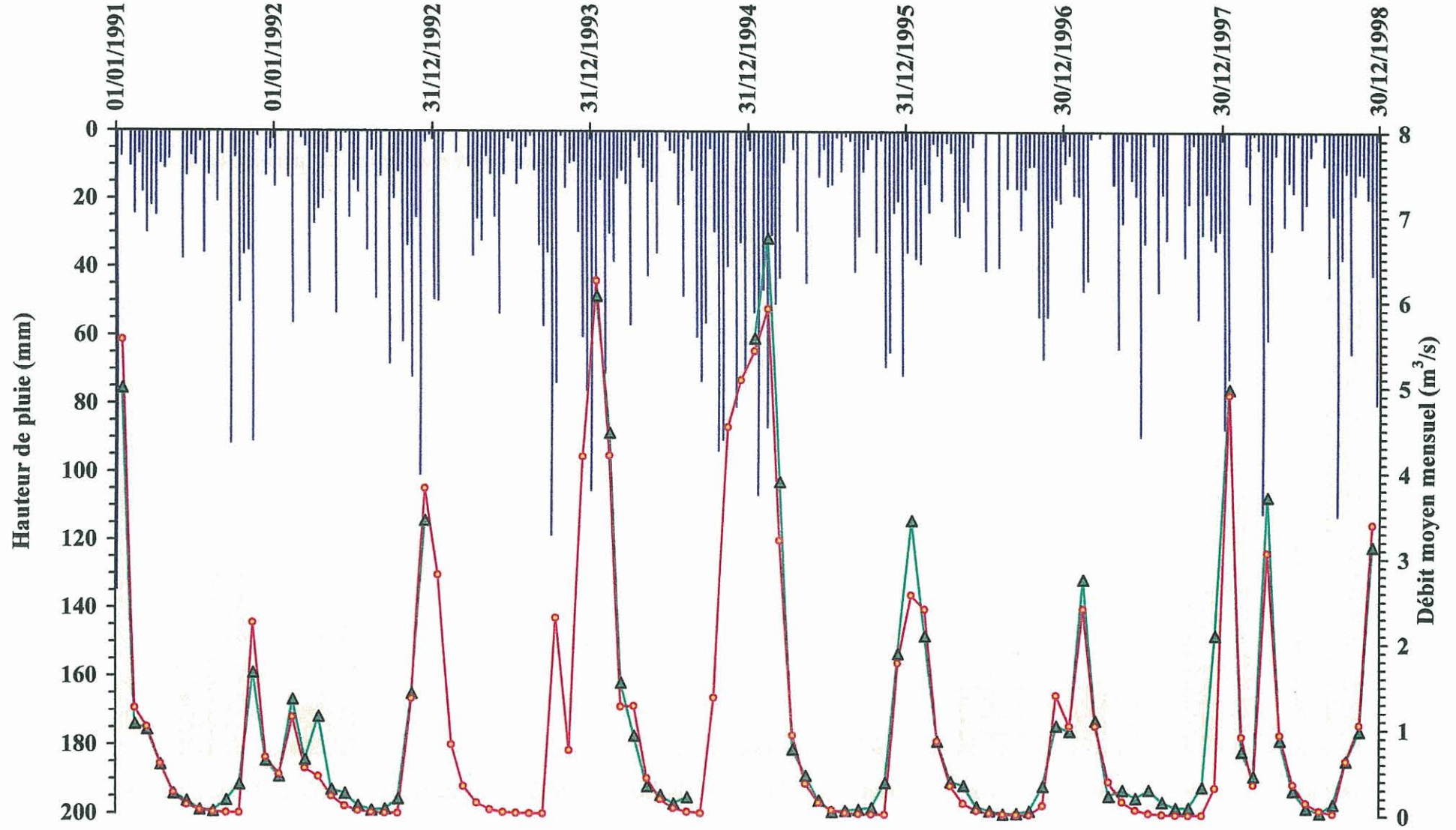
- comparaison des débits observés et calculés par le modèle GARDENIA,
- répartition mensuelle de la pluie efficace et de la recharge, calculées en moyenne annuelle sur la période d'ajustement.



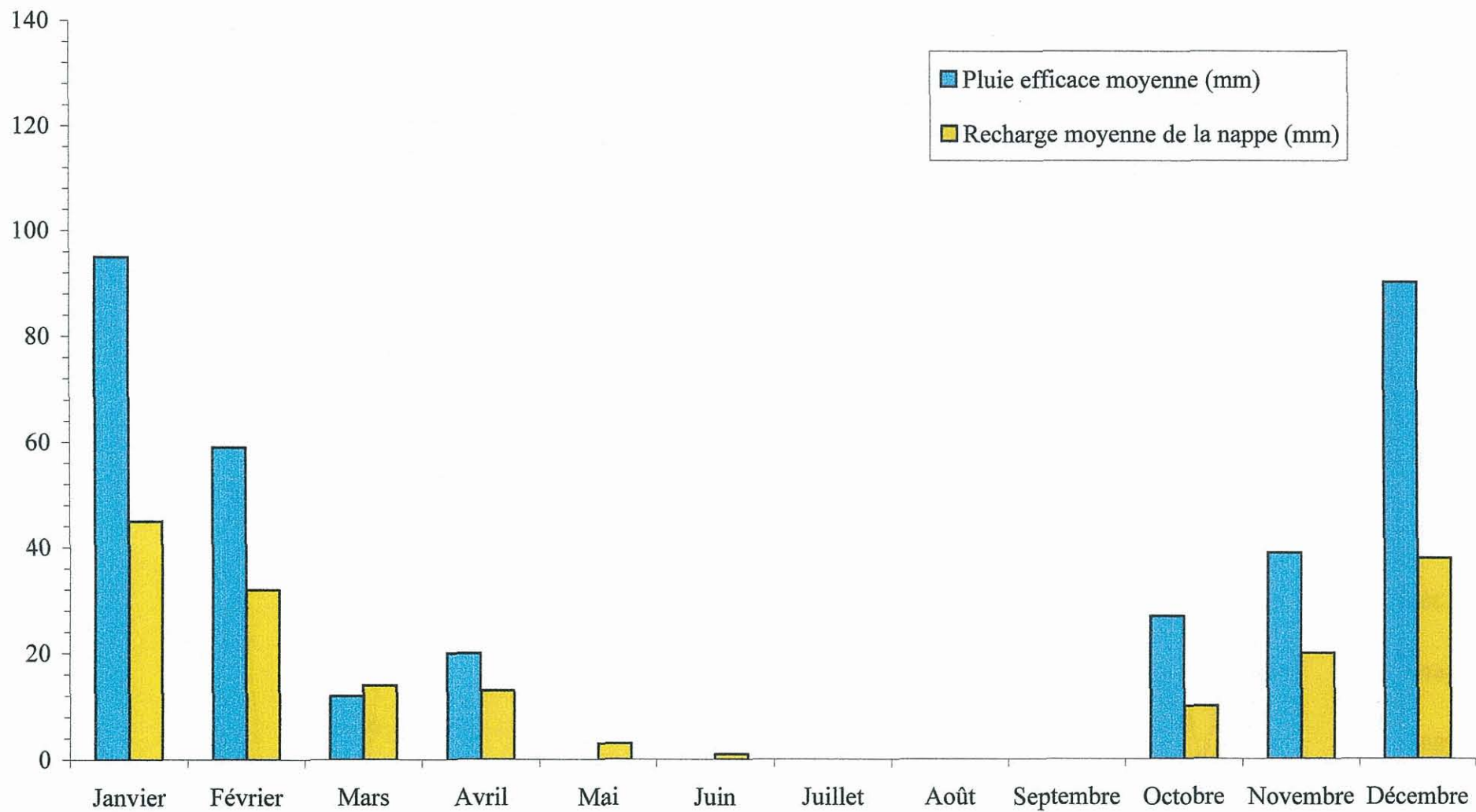
### Bournezeau - Recharge annuelle moyenne (calculée sur la période de calage 1993-1998)



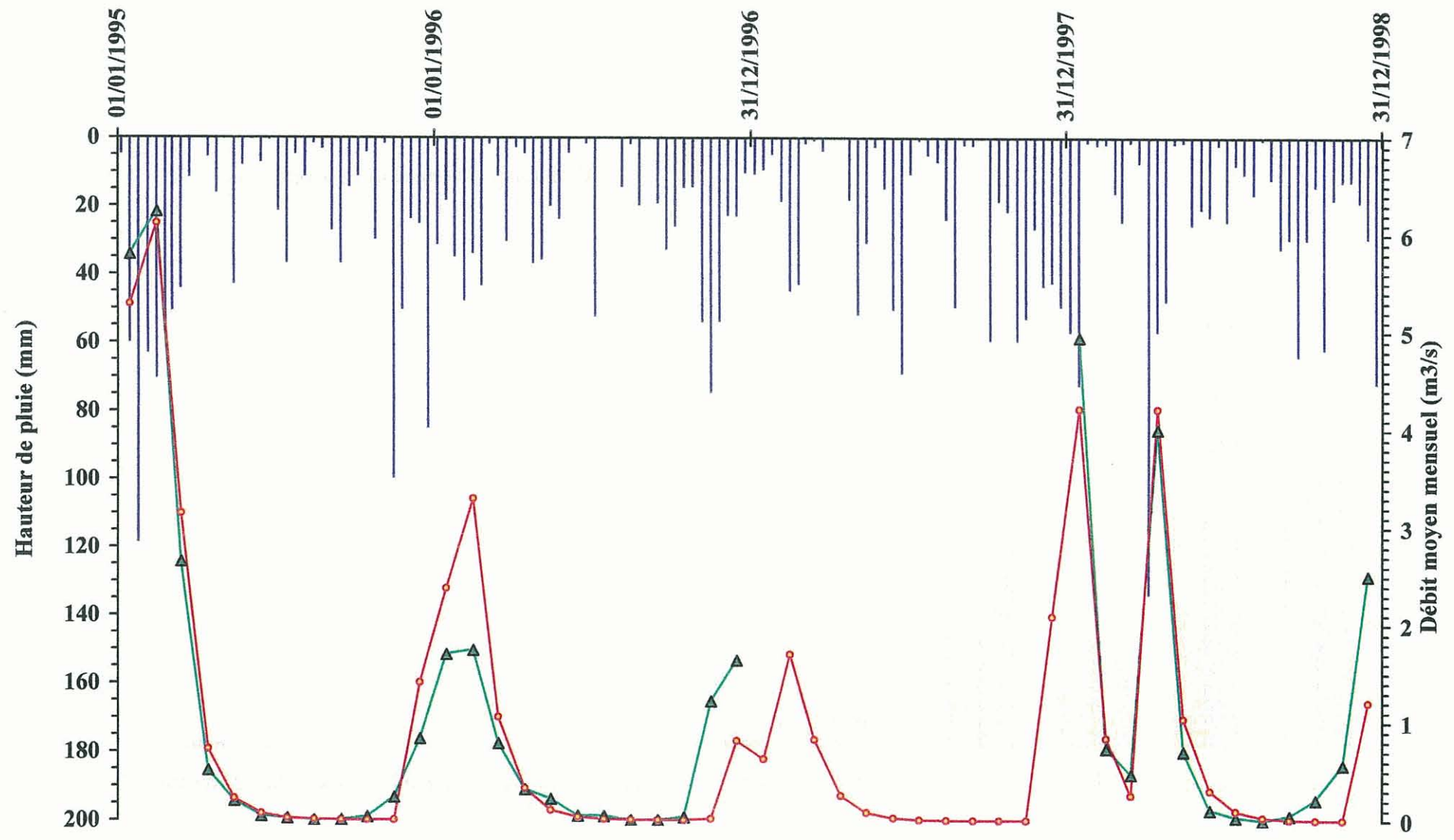
Pluie à Chantonnay (mm) —▲— Débit observé à Chantonnay —○— Débit simulé



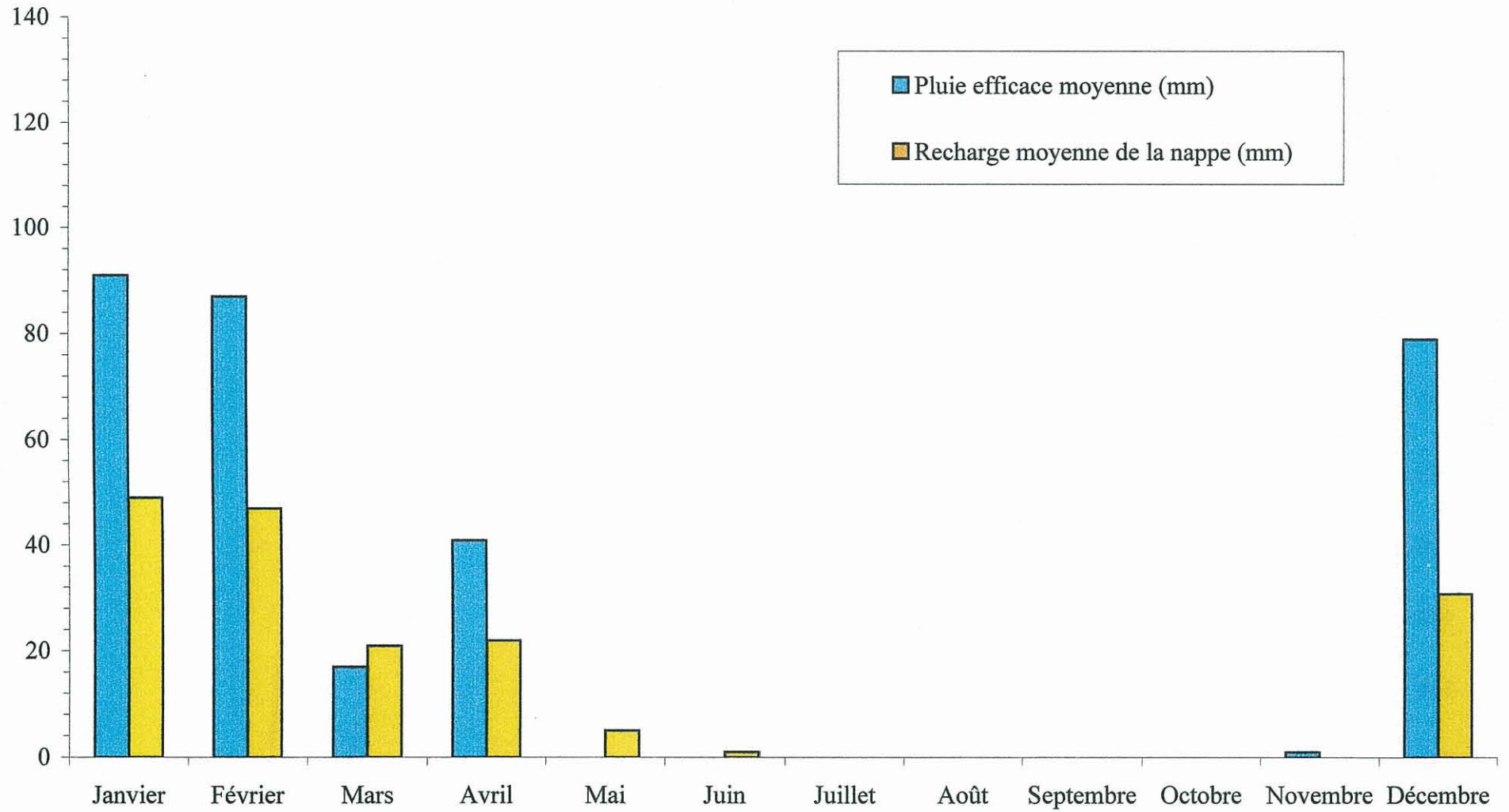
### Chantonnay - Recharge annuelle moyenne (calculée sur la période de calage 1991-1998)

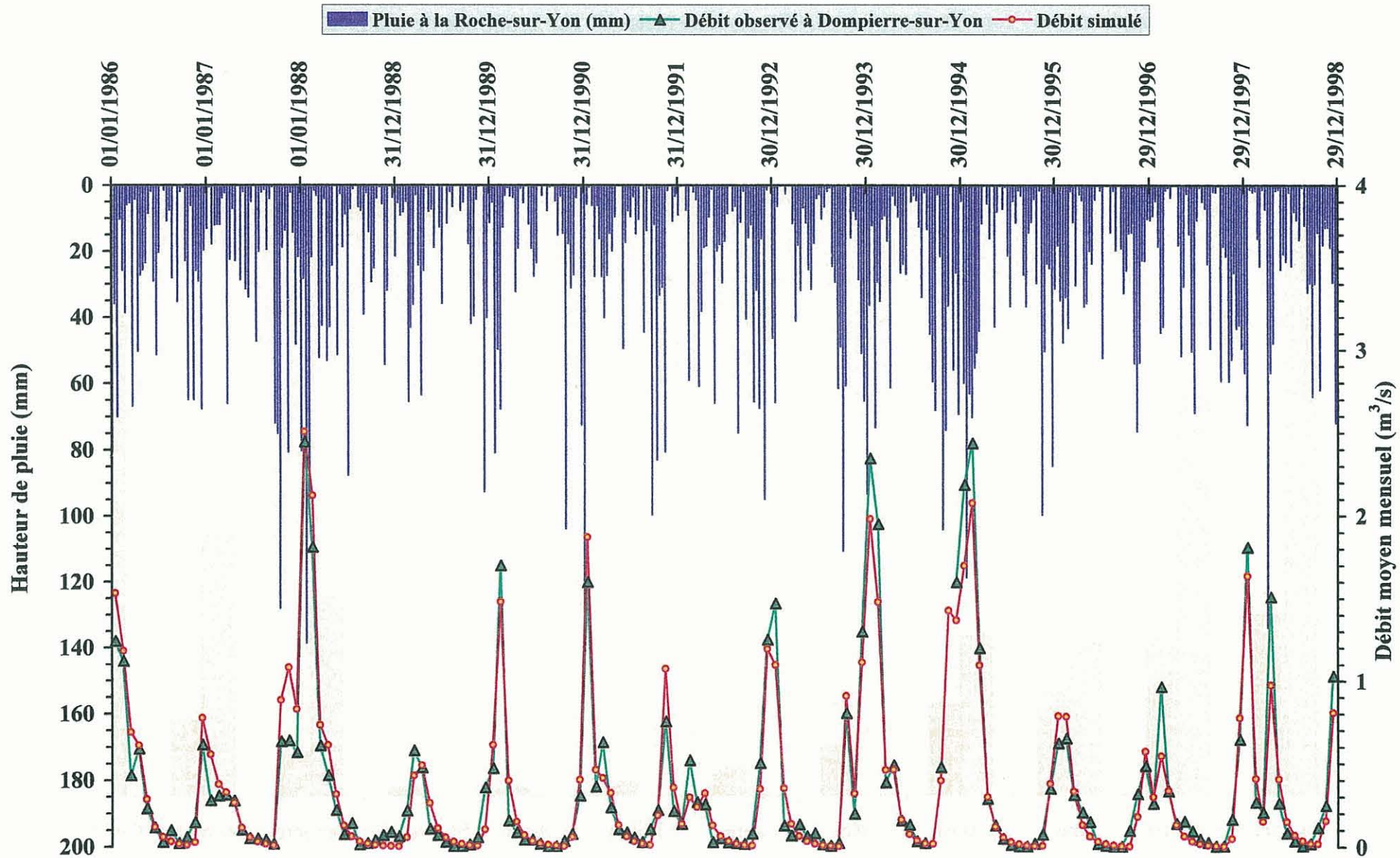


■ Pluie à Palluau (mm) ▲ Débit observé à la Chapelle-Palluau ○ Débit simulé

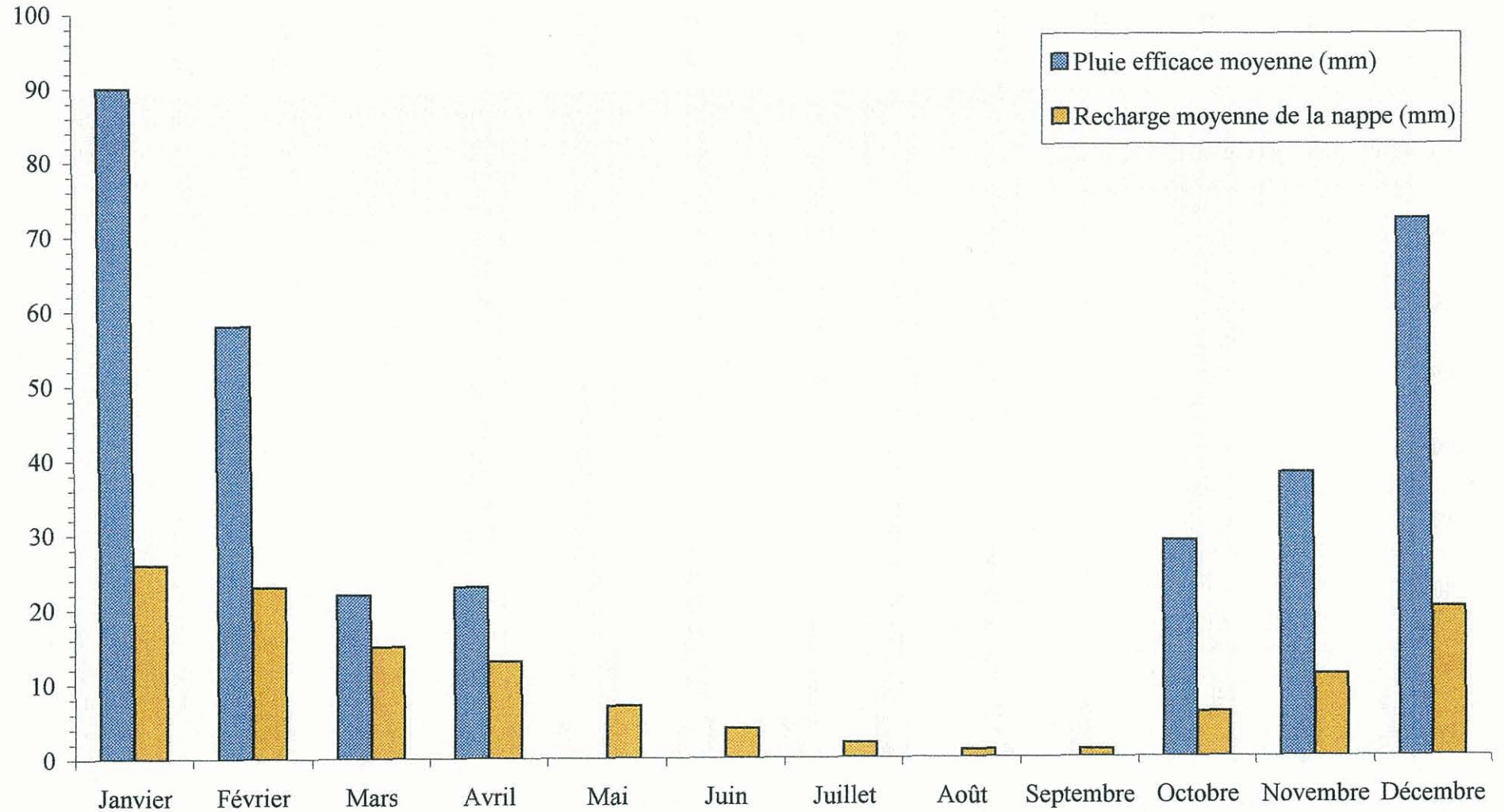


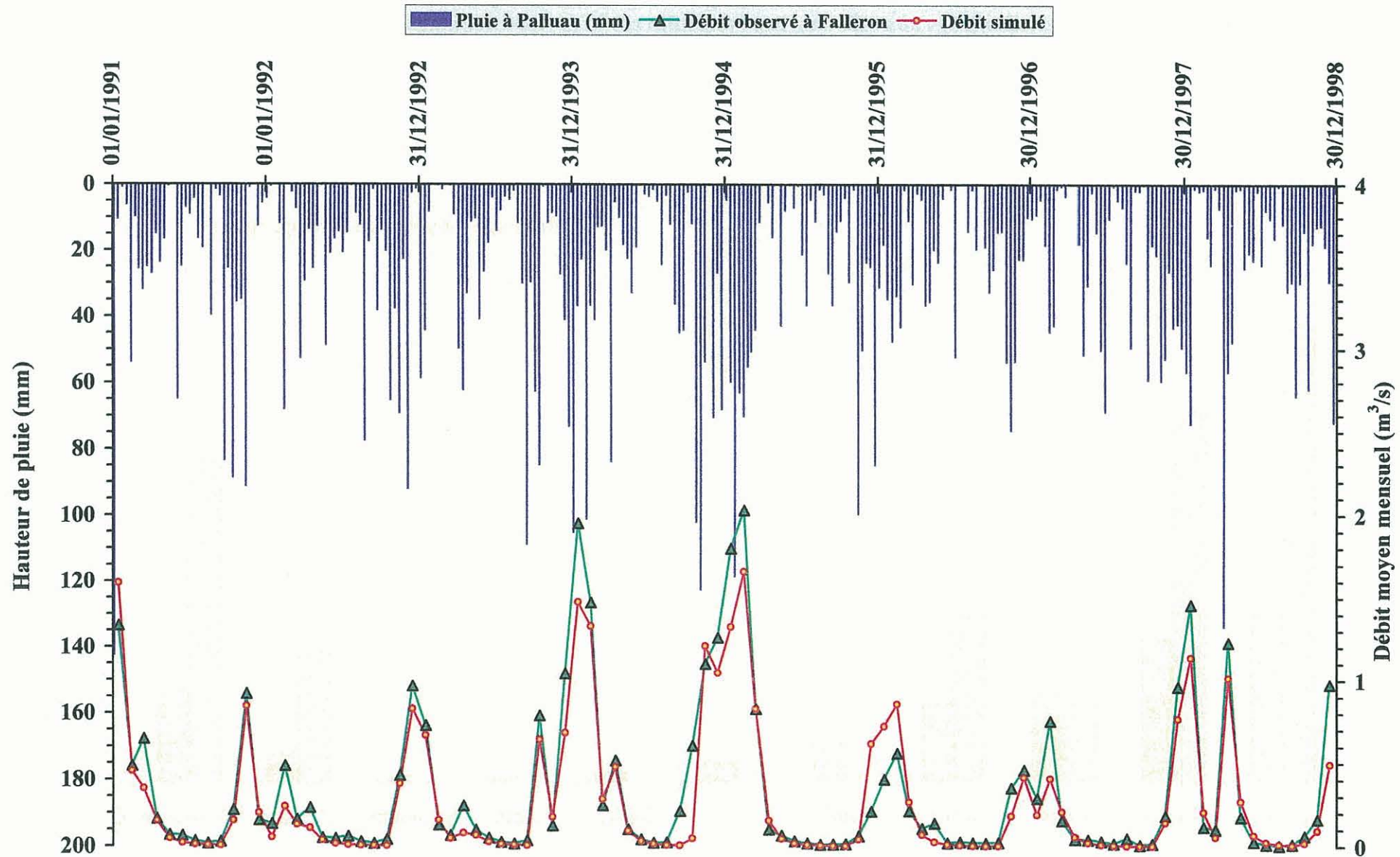
**La Chappelle-Palluau - Recharge annuelle moyenne (calculée sur la période de calage 1995-1998)**



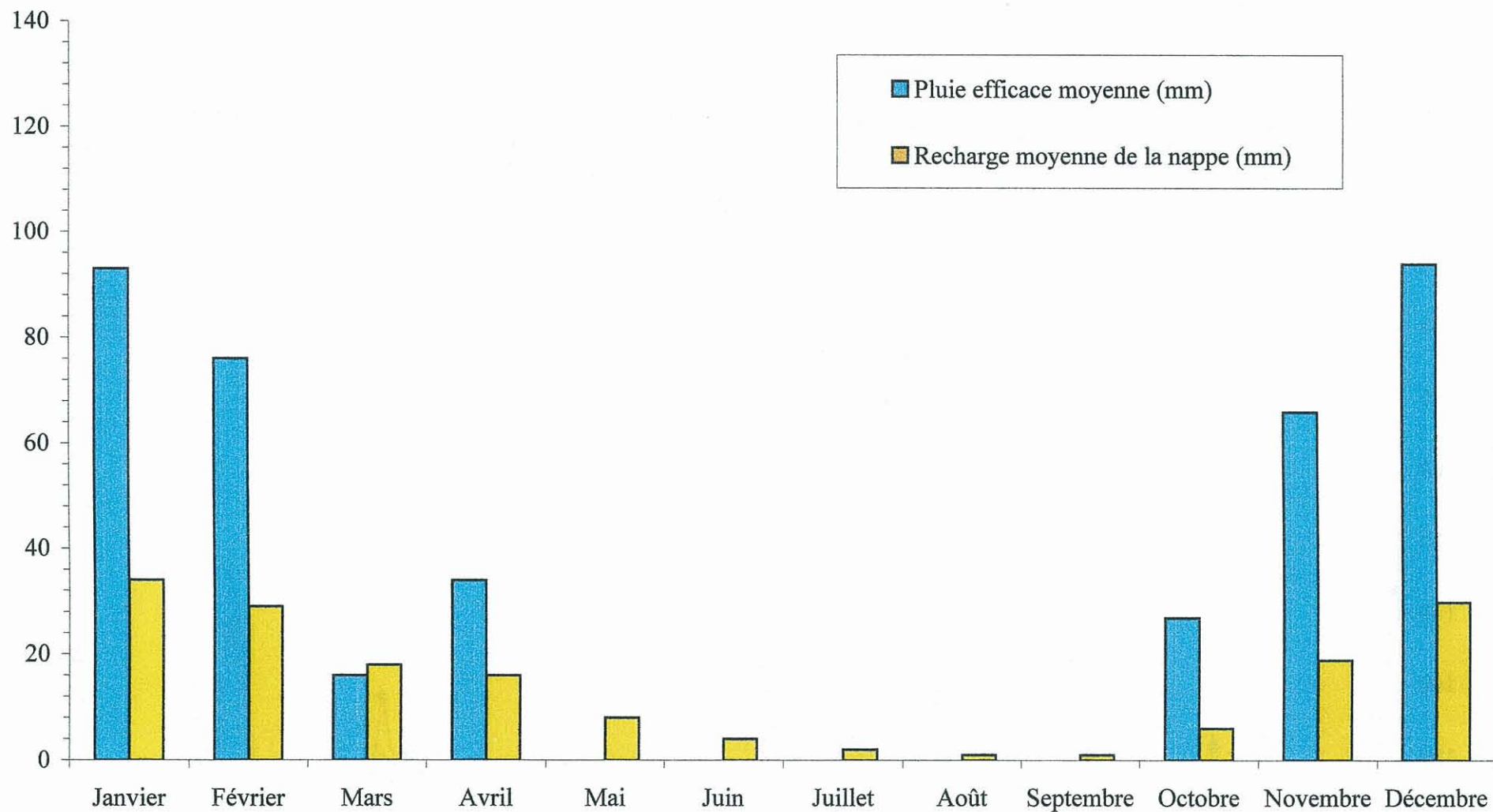


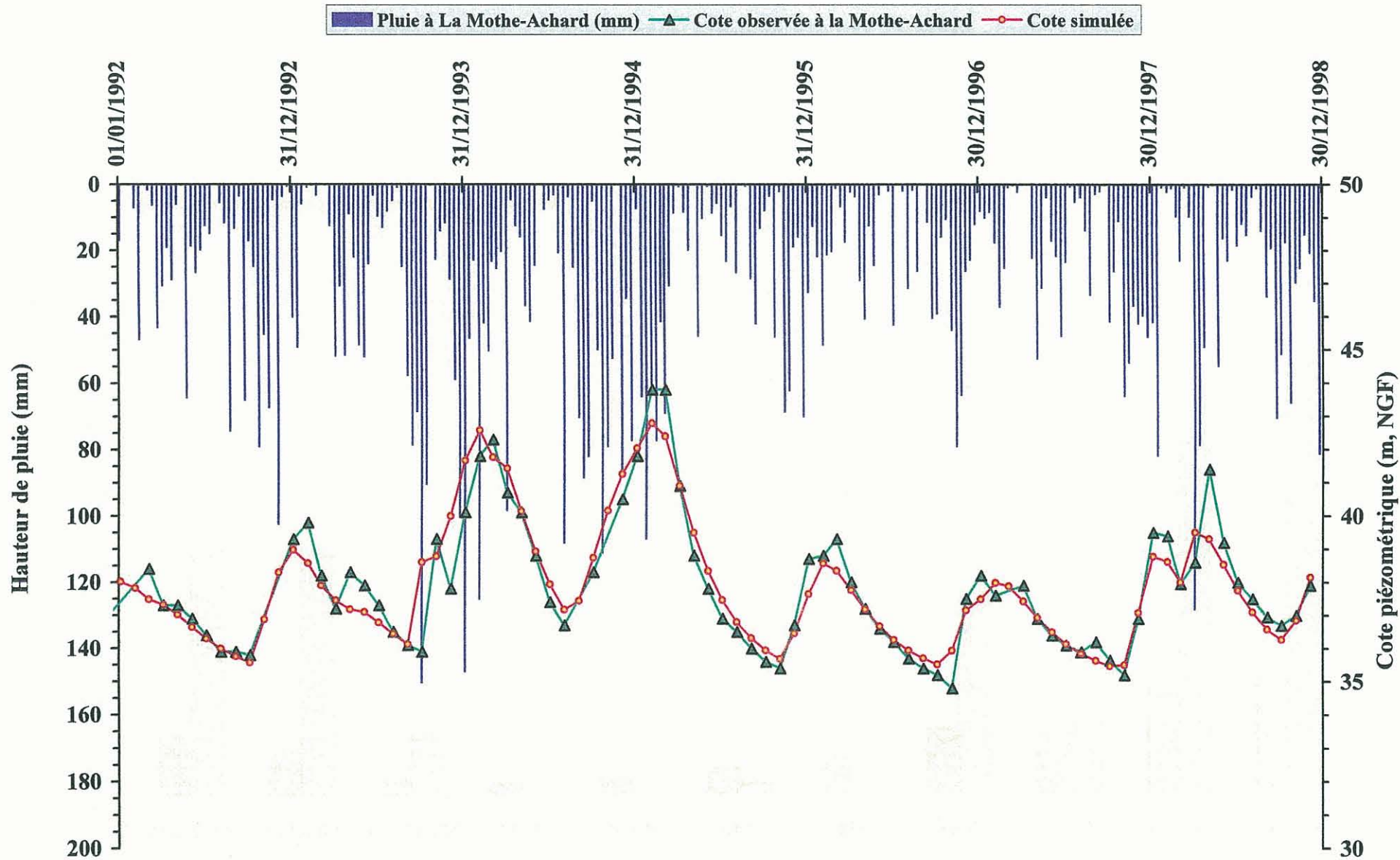
### Dompierre-sur-Yon - Recharge annuelle moyenne (calculée sur la période de calage 1986-1998)



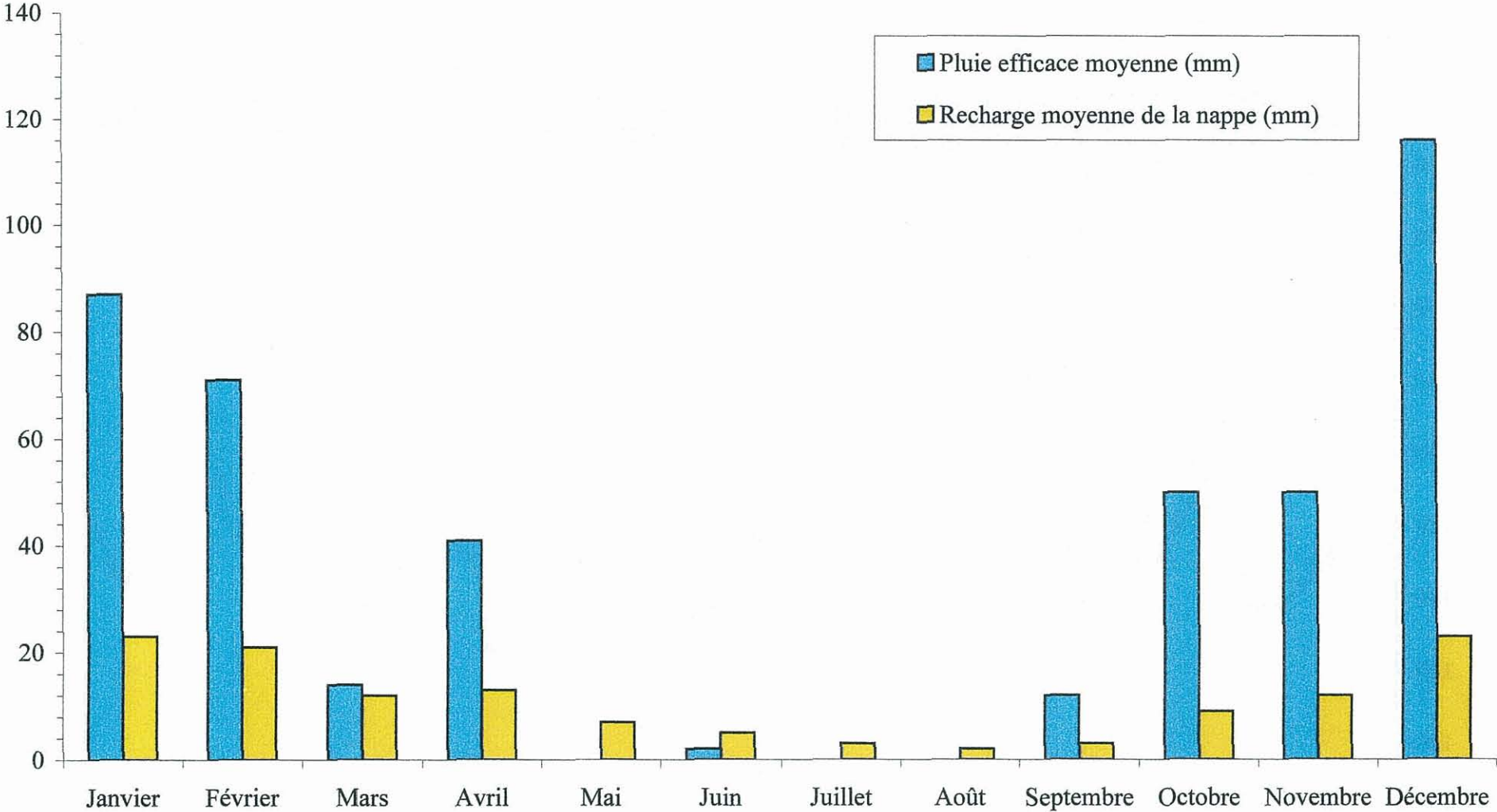


### Falleron - Recharge annuelle moyenne (calculée sur la période de calage 1991-1998)

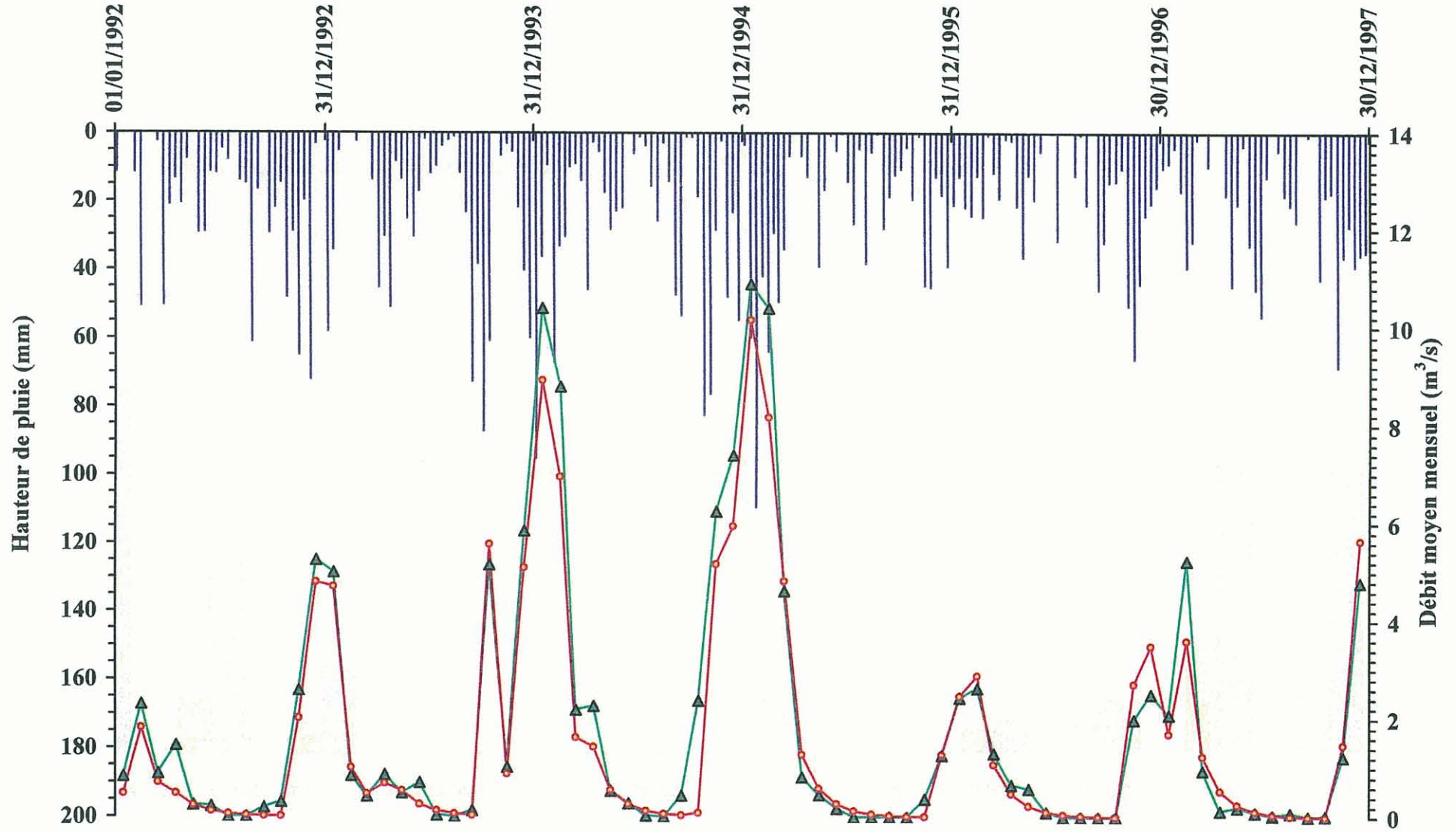




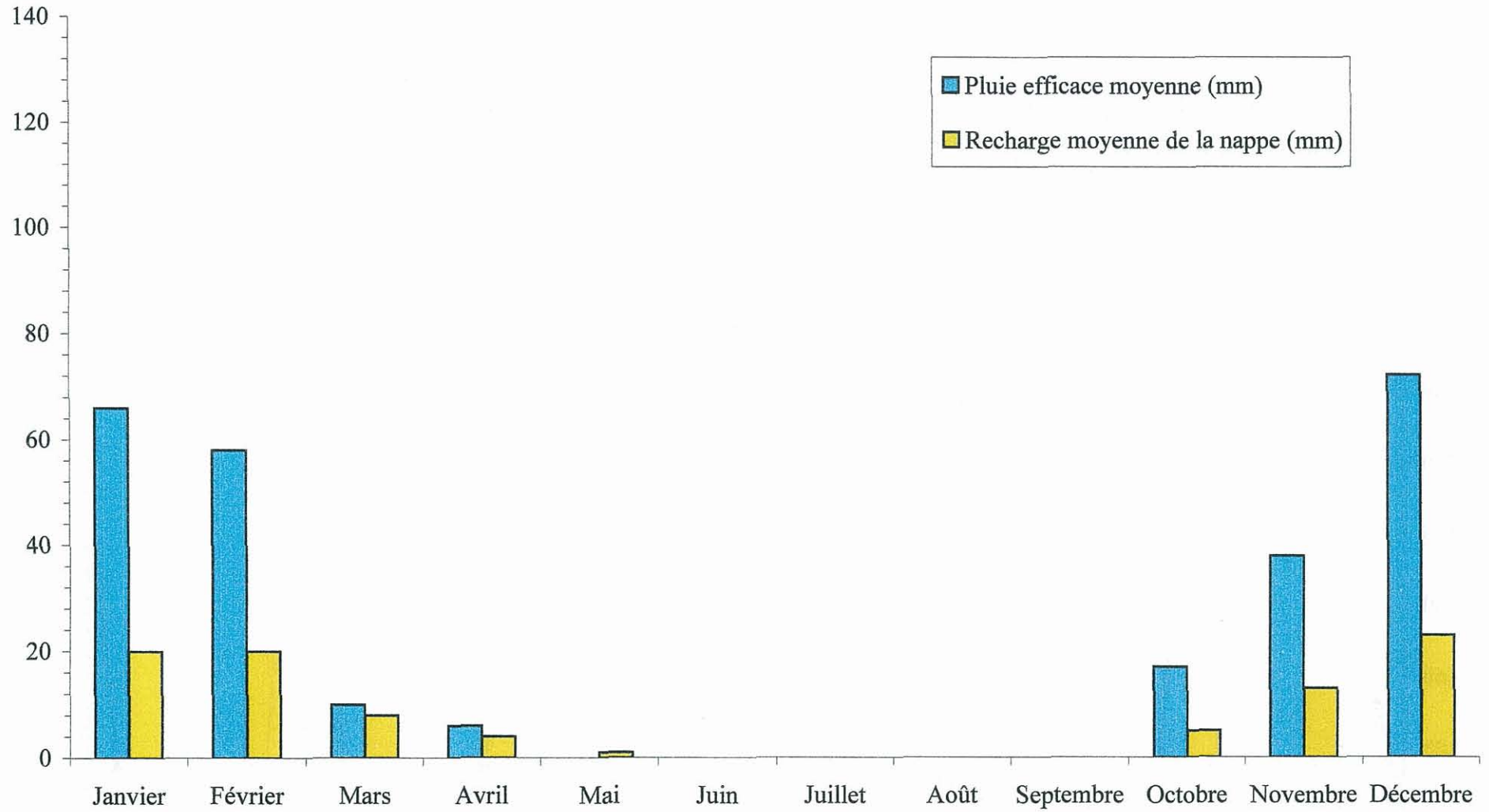
La Mothe-Achard - Recharge annuelle moyenne (calculée sur la période de calage 1992-1996)



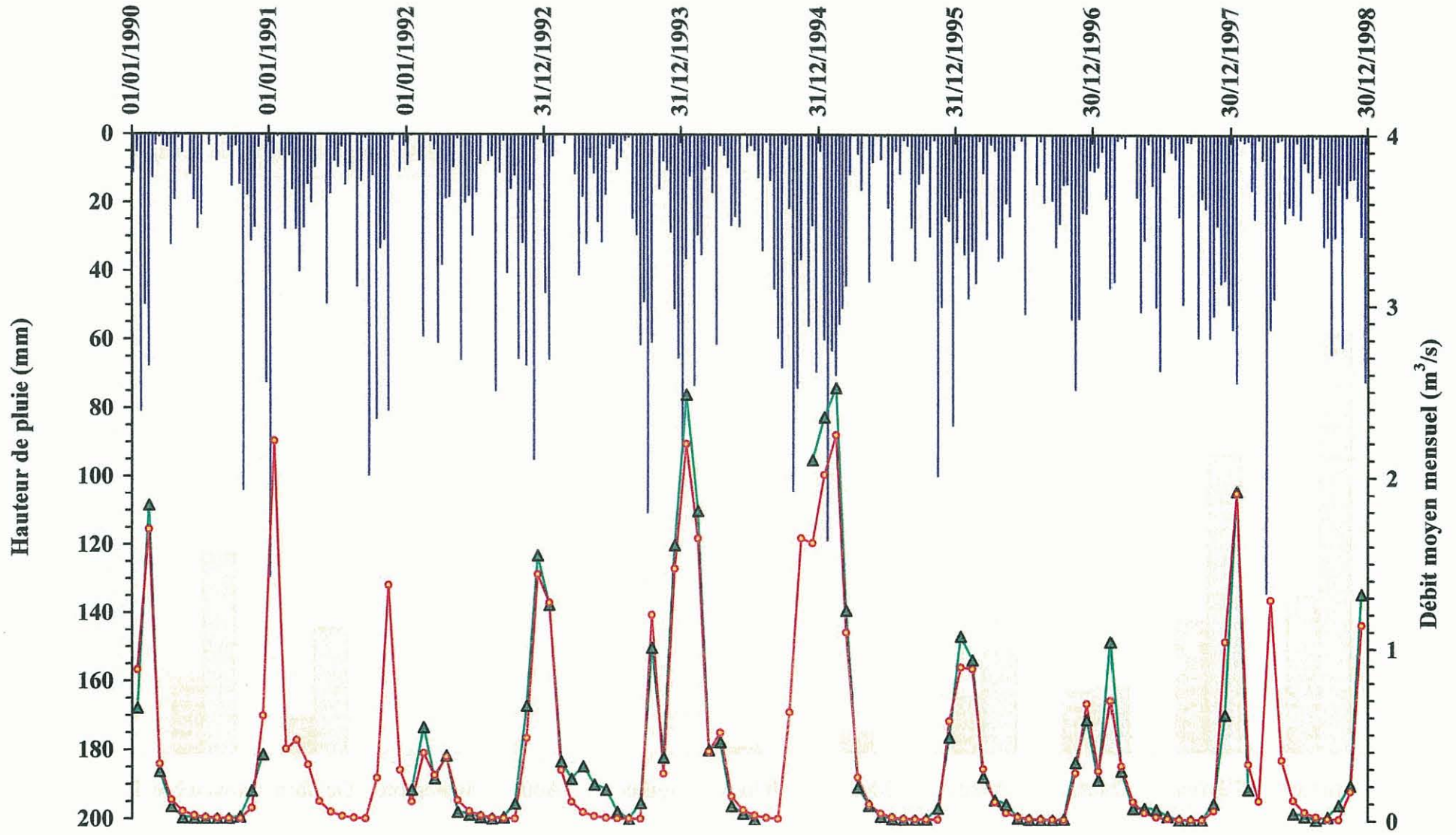
■ Pluie à Rocheservière (mm) ▲ Débit observé à Rocheservière ● Débit simulé



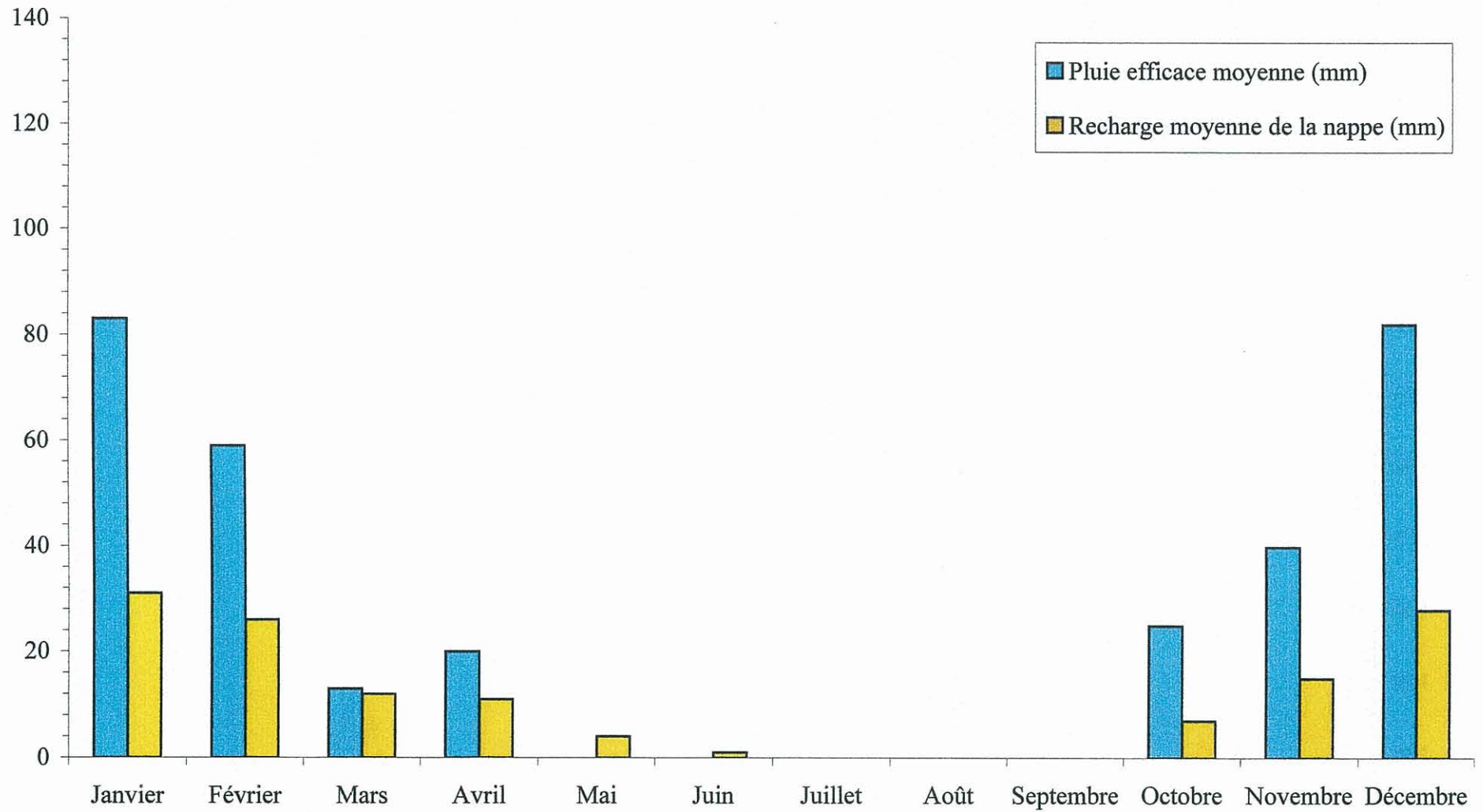
**Rocheserviere - Recharge annuelle moyenne (calculée sur la période de calage 1992-1997)**



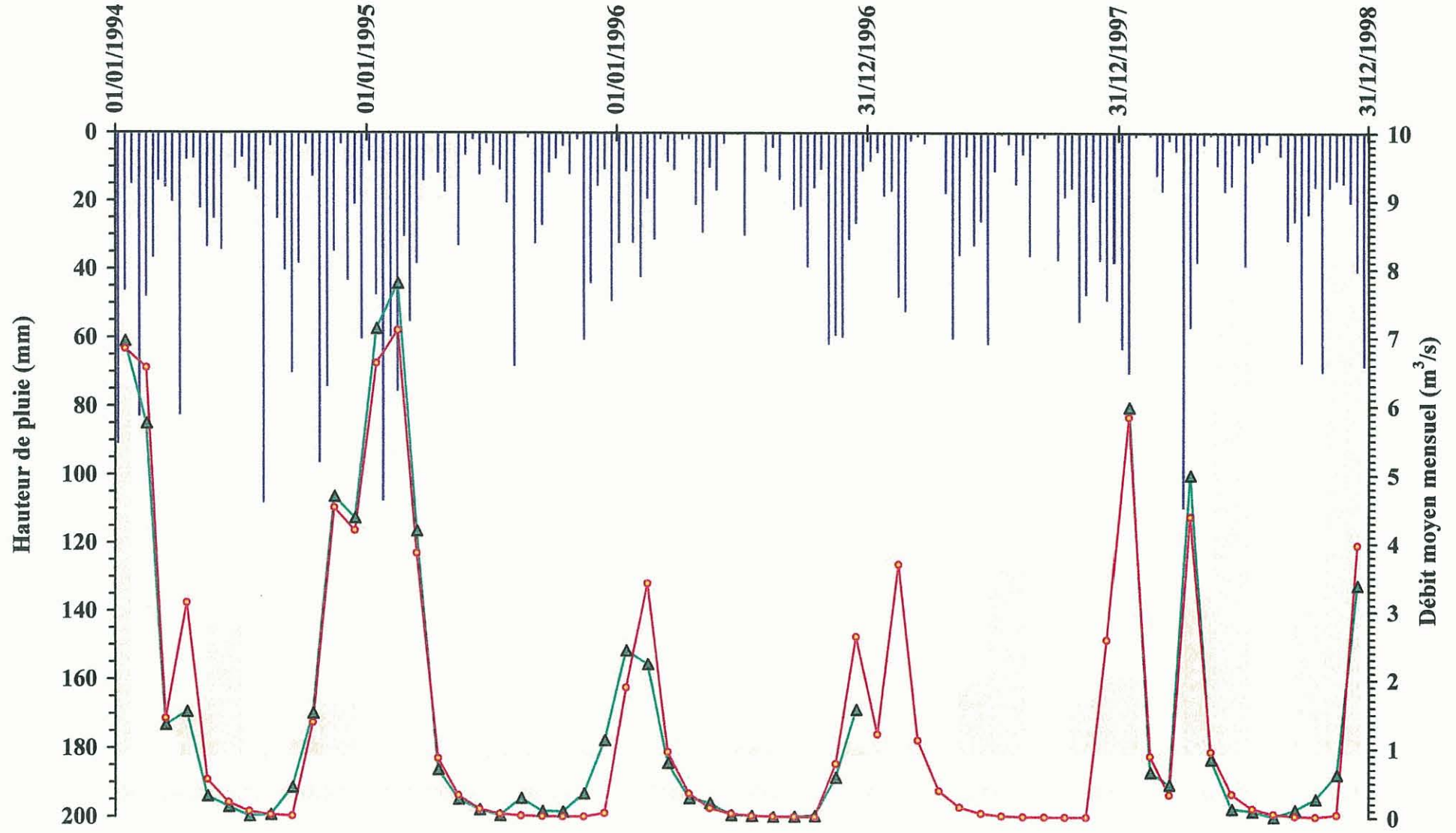
■ Pluie à la Roche-sur-Yon (mm) ▲ Débit observé à Saint-Florent-des-Bois ● Débit simulé



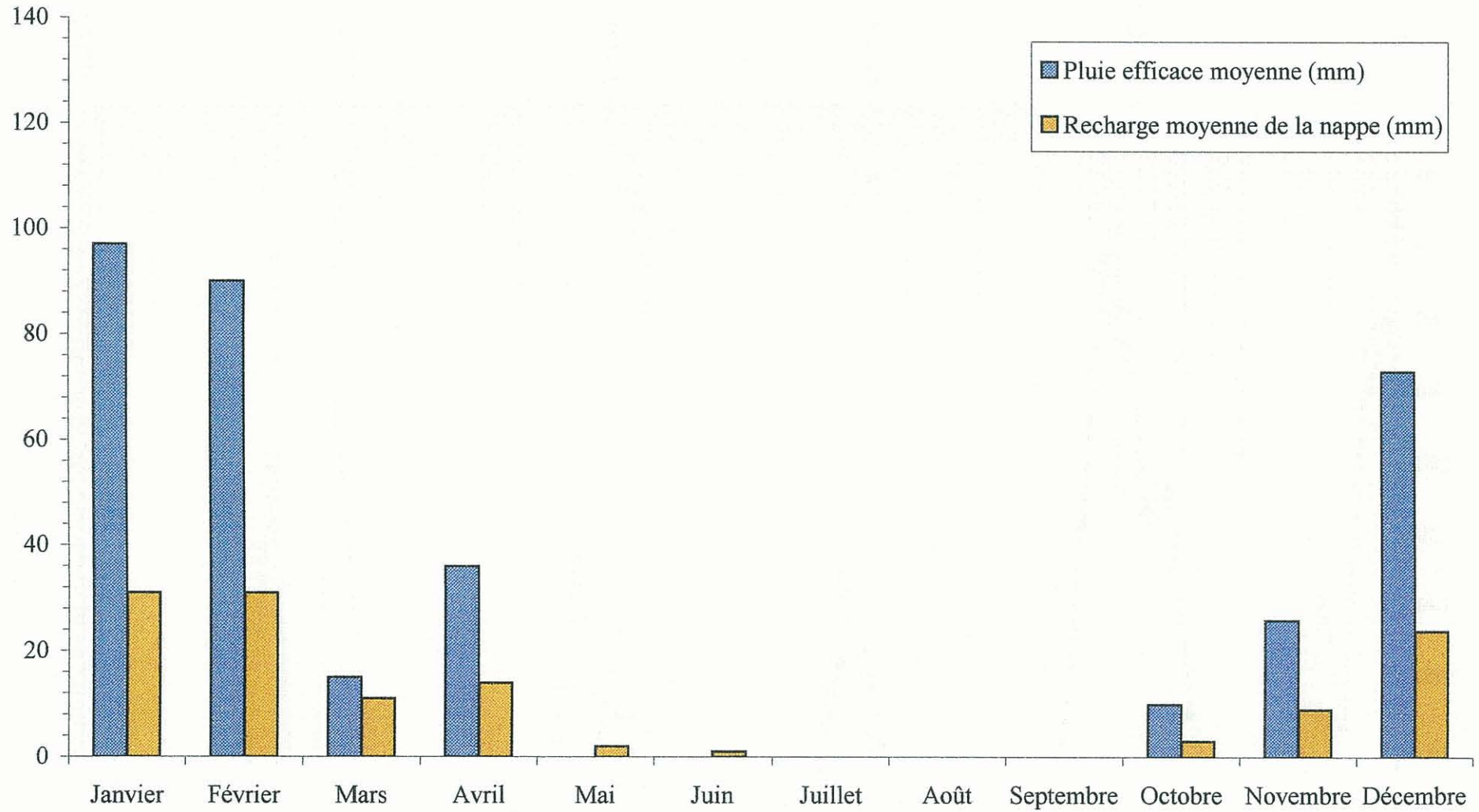
**Saint-Florent-des-Bois - Recharge annuelle moyenne (calculée sur la période de calage 1990-1998)**



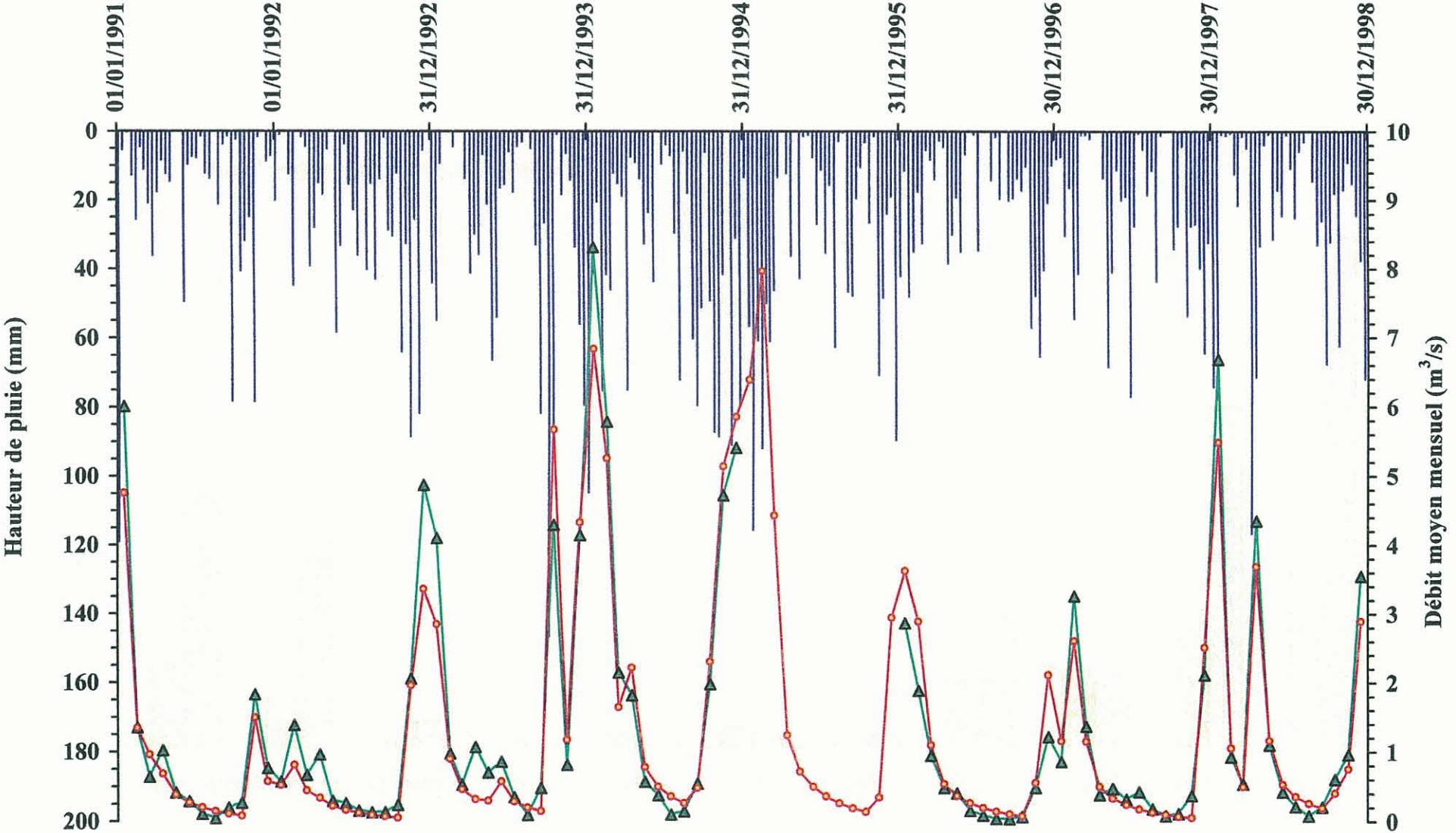
■ Pluie à les Landes-Genusson (mm) ▲ Débit observé à Plessis-des-Landes ○ Débit simulé



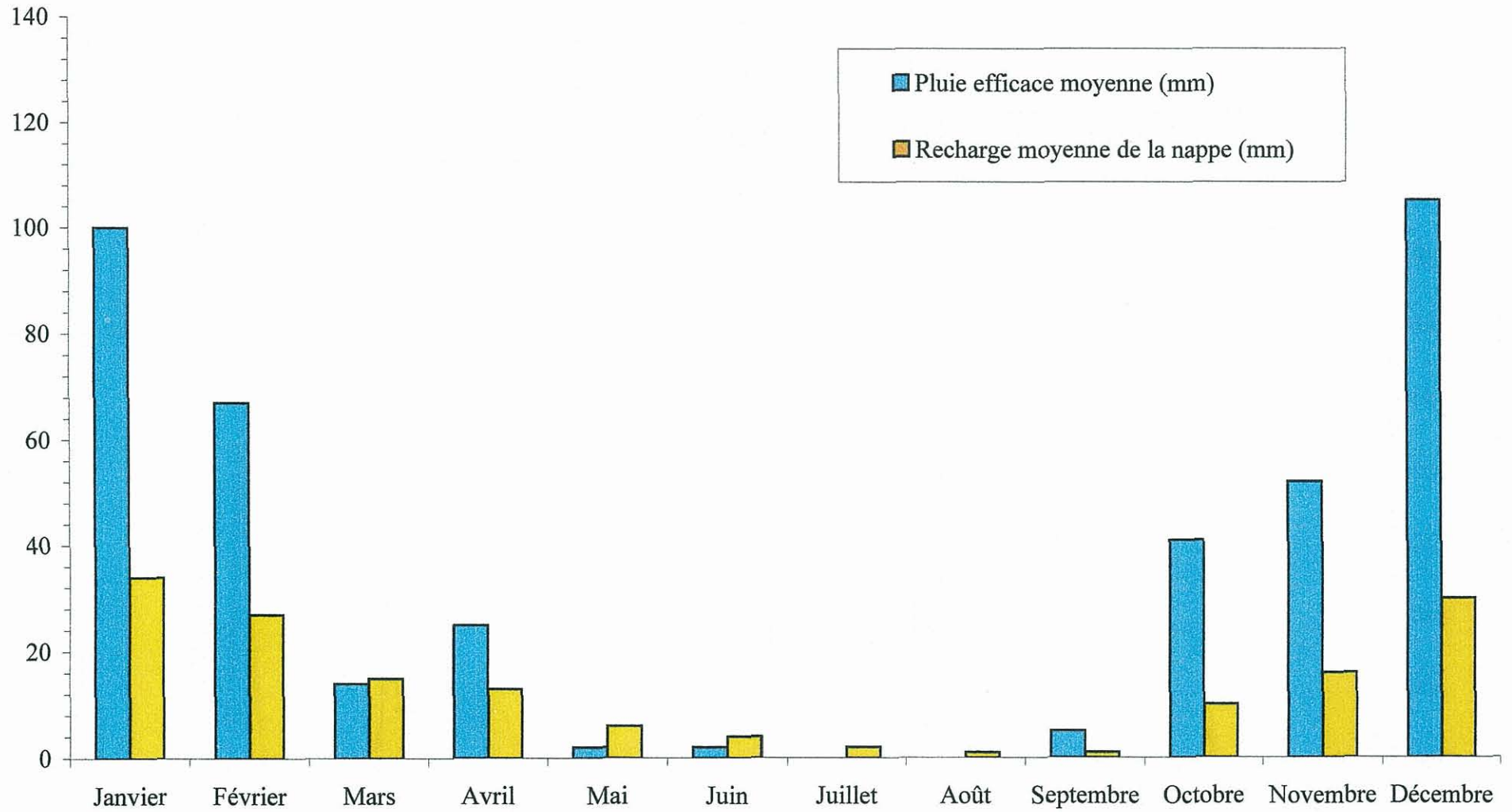
**Saint-Fulgent (Plessis-des-Landes)**  
**Recharge annuelle moyenne (calculée sur la période de calage 1994-1998)**



■ Pluie à Pouzauges (mm) ▲ Débit observé à Saint-Prouan ○ Débit simulé



**Saint-Prouan - Recharge annuelle moyenne (calculée sur la période de calage 1991-1998)**



**BRGM**

**Service Géologique Régional des Pays de la Loire**  
285, rue L. de Broglie -BP 92342 - 44323 NANTES CEDEX 3

