



Connaissance des ressources réellement disponibles sur l'ensemble des bassins versants crayeux Bassin Seine-Normandie en Champagne-Ardenne

Rapport final

BRGM/RP 61371-FR
Septembre 2013



Connaissance des ressources réellement disponibles sur l'ensemble des bassins versants crayeux Bassin Seine-Normandie en Champagne-Ardenne

Rapport final

BRGM/RP 61371-FR
Septembre 2013

P. STOLLSTEINER
Avec la collaboration de
BESSIERE H., BRUGERON A., PINSON S.

Vérificateur :

Nom : Amraoui N.

Date : 03/09/2013

Signature :

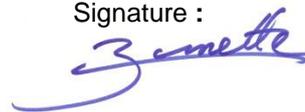


Approbateur :

Nom : Nicolas Zornette

Date : 09/09/2013

Signature :



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

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



Mots-clés : Craie, Nappe, Débit, Modélisation, Indicateur piézométrique, Prévion, Volumes exploitables, Champagne Ardenne, Prélèvements,

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

STOLLSTEINER P. (2013) – Connaissance des ressources disponibles sur l'ensemble des bassins versants crayeux. Bassin Seine-Normandie en Champagne-Ardenne. Rapport final. BRGM/RP-61371-FR, 157 pages, 98 illustrations (figures et tableaux) et 3 annexes, CD.

Synthèse

Afin d'appliquer la circulaire du 30 juin 2008 relative à la résorption des déficits quantitatifs en matière de prélèvement d'eau et gestion collective des prélèvements d'irrigation et atteindre les objectifs définis dans le 9ème programme de l'Agence de l'eau Seine-Normandie concernant la gestion collective des ressources en eau, l'Agence de l'eau Seine-Normandie et la DREAL Champagne-Ardenne ont défini avec le BRGM une étude visant à mieux connaître l'ensemble des bassins versants de la craie de la région Champagne Ardenne.

Après une présentation générale de l'hydrogéologie de la zone étude et une partie de collecte d'analyse et de validation des différents types de données, les analyses se sont portées sur les indicateurs piézométriques potentiels des différentes masses d'eau. Ces analyses ont permis de montrer l'existence de relations directes entre les débits aux droits des stations hydrométriques et les niveaux d'eau observés aux différents piézomètres existants. Les relations obtenues sont univoques pour des piézomètres à cycles annuels ou multiples pour les piézomètres à cycles pluriannuels. Par ailleurs, il est apparu qu'un seul piézomètre pouvait être représentatif de l'ensemble d'une masse d'eau (HG3208 notamment), ce qui indique un comportement homogène de celle-ci et permet ainsi l'utilisation de ce piézomètre pour analyser et/ou simuler les écoulements de bassins versants non suivis de cette même masse d'eau. Ces relations débit-niveau piézométrique permettent, après détermination de la vitesse de vidange des aquifères et, pour les piézomètres à cycles pluriannuels, connaissance du niveau piézométrique de fin de recharge du piézomètre indicateur, de réaliser des prévisions de débit pour l'étiage à venir.

Les stations hydrométriques (28) et les piézomètres indicateurs associés (définis précédemment) de la zone d'étude ont permis de réaliser des modélisations globales pluie-débit-niveau piézométrique à l'aide du logiciel GARDENIA du BRGM. Ces doubles modélisations, qui ont l'avantage simultanément d'équilibrer les bilans et de simuler le fonctionnement des nappes, ont permis, après calage sur la période d'observation des prélèvements, de simuler les débits des cours d'eau et le niveau des nappes sur la période 1980-2011. On a donc généré des débits simulés en considérant qu'il n'y avait aucun prélèvement de réalisé. Les débits et niveaux ainsi simulés ont été ensuite utilisés pour réaliser des ajustements suivant une loi de Gauss afin de définir les débits minima mensuels de période de retour 5 ans. Au droit de chaque station hydrométrique et pour chaque mois de la période 1980-2011, ce débit mensuel quinquennal obtenu a été soustrait au débit moyen mensuel simulé afin de définir les volumes cumulés « disponibles pour tous usages » (débit excédentaire du QMNA5) sur les périodes allant de mai à septembre (5 mois) et de juin à août (3 mois), périodes susceptibles de nécessiter de l'irrigation.

Ces volumes ne sont pas directement comparables à ceux fournis lors des études précédentes réalisées sur quelques-uns de ces bassins versants par le BRGM à l'aide du logiciel TEMPO en 2006 et 2009 (cf. bibliographie). En effet, les hypothèses et options de calcul utilisées pour ces études sont suffisamment différentes pour expliquer les résultats, notamment :

- une période de calage différente,
- suite à la réalisation de la campagne piézométrique, la prise en compte de débit de transfert interbassins,
- des QMNA5 différents car intégrant les débits prélevés (sans décalage temporel),
- une période de prélèvement et une répartition des volumes prélevés différentes,
- une fréquence de référence différente : satisfaction des besoins quatre années sur 5 au lieu de trois années sur quatre (étude Tempo 2009),

- enfin, les volumes indiqués incluent ici les prélèvements EI et AEP, contrairement aux études TEMPO de 2006 et 2009.

Une démarche similaire a été entreprise au droit des bassins versants jaugés ponctuellement à l'occasion de cette étude, en réalisant des doubles modélisations pluie-débit-niveau piézométrique. Ces modélisations, qui reposent uniquement sur 2 jaugeages d'étiage, sont toutefois rendues possibles par l'utilisation des données de niveau d'eau des indicateurs piézométriques représentant fidèlement le fonctionnement de l'ensemble de la masse d'eau ainsi que des principaux paramètres de calage des bassins versants voisins, l'ajustement se faisant principalement sur les débits non contrôlés au droit des stations hydrométriques (échanges avec bassins versants adjacents et/ou sous écoulement au droit des stations).

Ces débits d'échanges interbassins ou de sous écoulement, mis en évidence par la campagne piézométrique réalisée en 2011, sont très variables d'un bassin à l'autre mais également variables suivant les niveaux des dômes piézométriques des différentes masses d'eau. C'est en grande partie ce phénomène qui n'a pas permis, malgré l'apport de l'IDPR et de paramètres tels que la rugosité, d'étendre, sans jaugeage spécifique, les résultats précédents (QMNA5 et volume disponible) à l'ensemble des bassins versants crayeux des masses d'eau HG3207 à HG3210. Il a donc fallu se contenter, pour la zone d'étude restante (environ 25%), d'évaluer au moyen de la pluie efficace et de l'IDPR les recharges moyennes disponibles.

L'étude comparative entre débits moyens prélevés et débits disponibles montrent que globalement, même s'ils sont conséquents, les prélèvements, à l'exception de quelques bassins (notamment au droit de la masse d'eau HG3208), ne sont pas excessifs. Néanmoins, par suite des variations climatiques présentes et futures et de possibles demandes de prélèvements pour l'irrigation centrées sur les mois les plus critiques de l'étiage, les prélèvements moyens actuels sont susceptibles de ne pas être satisfaits à raison de quatre années sur cinq au droit de certains bassins versants.

Il convient également de rappeler que par suite du manque de connaissance des données de prélèvement, en volume mais surtout en répartition temporelle, il n'a pas été possible d'évaluer même grossièrement l'impact de ceux-ci sur les débits d'étiage. Il a ainsi été admis que les quantités prélevées se déduisaient directement (sans retard) sur les débits mesurés aux stations hydrométriques. Cela revient à considérer que les prélèvements s'effectuent à proximité du cours d'eau, vision optimiste de la situation avec un étiage survenant après la période d'irrigation.

Les incertitudes sur les ressources potentielles et sur les débits potentiellement prélevables pourraient être réduites, à l'aide des modèles réalisés, par réalisation de mesures complémentaires. Ces mesures sont de types et de coûts différents. Il s'agirait notamment, par ordre d'importance décroissante, de :

- réaliser des campagnes de jaugeages d'étiage (au moins 2, voire 3 par an) durant la période d'étiage (absence de pluie) au droit des bassins versants non suivis les plus prometteurs,
- réaliser une piézométrie de « hautes eaux » afin de préciser la variation de la superficie des bassins versants souterrains,
- mieux connaître les volumes et la répartition spatiale et temporelle des prélèvements significatifs.

Sommaire

1. Présentation de l'étude	13
1.1. CONTEXTE ET OBJECTIFS	13
1.2. ZONE D'ETUDE	13
1.3. METHODOLOGIE.....	13
2. Contexte hydrogéologique	15
2.1. GENERALITE SUR LA CHAMPAGNE CRAYEUSE	15
2.2. ANALYSES DES DONNEES COLLECTEES PAR MASSE D'EAU	17
2.2.1. Masse d'eau HG3207	17
2.2.2. Masse d'eau HG3208	19
2.2.3. Masse d'eau HG3209	19
2.3. CARACTERISTIQUES DES BASSINS VERSANTS JAUGES	21
2.3.1. Pluviométrie moyenne Aurelhy 1971-2000.....	21
2.3.2. Caractéristiques principales issues de la banque hydro	22
2.3.3. Variation mensuelle des débits	28
2.4. CARACTERISTIQUES DES BASSINS VERSANTS NON JAUGES	30
2.4.1. Courbes piézométriques existantes	30
2.4.2. IDPR : Indice De Persistence des Réseaux	35
2.4.3. Rugosité	40
3. Modélisations des bassins versants jaugés.....	43
3.1. DESCRIPTION DU LOGICIEL DE MODELISATION.....	43
3.2. COLLECTE, CONTROLE ET MISE EN FORME DES DONNEES	46
3.2.1. Pas de temps.....	46
3.2.2. Données d'entrée	46
3.2.3. Données climatologiques	47
3.2.4. Données hydrométriques	49
3.2.5. Données piézométriques	49
3.2.6. Prélèvements.....	50
3.2.7. Récapitulatif des données utilisées	50
3.3. CALAGES DES MODELES	52
3.4. EXPLOITATION DES RESULTATS SUR LA PERIODE 1980-2011	53
3.4.1. Bilan des modélisations	53
3.4.2. Evapotranspiration Réelle.....	54

3.4.3. Pluie efficace	54
3.4.4. Répartition écoulement rapide / écoulement lent	57
3.4.5. Recharge des aquifères	58
3.5. EXPLOITATION DES DEBITS SIMULES	59
3.6. COMPARAISON AVEC LES VALEURS OBTENUES LORS DES ETUDES TEMPO 59	
3.7. LIMITES D'UTILISATION DES MODELES	62
4. Prévisions des débits d'étiage	65
4.1. INDICATEURS PIEZOMETRIQUES	65
4.1.1. Introduction	65
4.1.2. Masse d'eau HG3207	66
4.1.3. Masse d'eau HG3208	71
4.1.4. Masse d'eau HG3209	77
4.1.5. Masse d'eau HG3210	77
4.1.6. Conclusion	81
4.2. MODELISATIONS GLOBALES	82
5. Jaugeages d'étiages sur bassins versants non jaugés	87
5.1. LOCALISATIONS ET MESURES REALISEES	87
5.2. ANALYSE DES VALEURS DE JAUGEAGES OBTENUES	87
5.2.1. Introduction	87
5.2.2. Masse d'eau HG3207	90
5.2.3. Masse d'eau HG3208	92
5.3. EVALUATION PAR MODELISATION GLOBALE	95
5.3.1. Principe	95
5.3.2. Masse d'eau HG3207	96
5.3.3. Masse d'eau HG3208	97
5.4. CONCLUSION	98
6. Extrapolation des résultats des bassins versants jaugés aux bassins versants non jaugés	99
6.1. PREAMBULE	99
6.2. CORRELATIONS REALISEES	99
6.2.1. Pluie efficace	99
6.2.2. Ruissellement et Recharge	104
6.2.3. Débits d'étiages : QMNA5	104
6.2.4. Evaluation des volumes disponibles	107

7. Prélèvements	113
8. Conclusions.....	119
9. Bibliographie	121

Liste des illustrations

illustration 1 : Localisation des bassins versants jaugés et des stations de mesure utilisés dans l'étude.....	14
illustration 2 : Localisation, extension et coupe type des aquifères de la craie de Champagne .	15
illustration 3 : Productivité de l'aquifère crayeux selon la topographie.....	16
illustration 4 : Impact sur le débit des rivières des prélèvements d'eau pour irrigation de la nappe de la craie.....	17
illustration 5 : Localisation des bassins versants, des stations de mesures suivies et des prélèvements au droit de la masse d'eau HG3207.....	18
illustration 6 : Analyse visuelle des chroniques des piézomètres situés sur, ou à proximité, de la masse d'eau.....	18
illustration 7 : Localisation des bassins versants, des stations de mesures suivies et des prélèvements au droit de la masse d'eau HG3208.....	19
illustration 8 : Localisation des bassins versants, des stations de mesures suivies et des prélèvements au droit de la masse d'eau HG3209.....	20
Illustration 9 : Chroniques des principaux piézomètres de la masse d'eau HG3209.....	20
illustration 10 : Pluviométrie moyenne interannuelle au droit des bassins versants suivis sur la période 1971-2000 (données Météo France, méthode Aurelhy).	21
illustration 11 : informations de base collectées auprès de la banque « Hydro » et variables calculées qui en découlent.....	23
illustration 12 : Lame d'eau moyenne inter annuelle et lames d'eau moyennes mensuelles interannuelles extrêmes au droit des différentes stations.	24
illustration 13 : Cartographie des débits moyens mensuels minimaux annuels et débits minimaux d'étiage moyens sur 3 jours de période de retour 5 ans au droit des stations jaugées.....	25
illustration 14 : Cartographie des débits spécifiques correspondant aux débits moyens mensuels minimaux annuels et aux débits minimaux d'étiage moyens sur 3 jours de période de retour 5 ans au droit des stations jaugées.....	26
illustration 15 : Cartographie du coefficient A_{10} au droit des stations jaugées.	27
illustration 16 : Variation du débit moyen mensuel interannuel du Py à Dontrien (à gauche) et de l'Ouane à Toucy (à droite, bv. non totalement crayeux).	28
illustration 17 : Répartition mensuelle des débits moyens interannuels au sein des bassins versants de la craie de Champagne-Ardenne (Famille 1).	28
illustration 18 : Répartition mensuelle des débits moyens interannuels au sein des bassins versants de la craie de Champagne-Ardenne (Famille 2).	29
illustration 19 : Différence de répartition des débits moyens mensuels interannuels entre les deux familles.	29
<i>illustration 20 : Délimitations et numérotations des bassins versants de la craie sur les régions Champagne-Ardenne et Bourgogne.....</i>	<i>31</i>
illustration 21 : Courbes piézométriques de 1967 (à gauche) et 2002 (à droite) de la masse d'eau HG3207	32
<i>illustration 22 : Isopièzes de basses eaux de septembre 2011 et principales directions d'écoulements souterrains non contrôlés au droit des stations hydrométriques.</i>	<i>33</i>
illustration 23 : Carte des bassins présentant des écoulements préférentiels souterrains d'après la campagne piézométrique 2011.....	34

<i>illustration 24 : Couches d'informations nécessaires au calcul de l'IDPR</i>	36
Illustration 25 : Relation Coefficient A10 de ruissellement en crue et IDPR	38
<i>illustration 26 : IDPR des différents bassins versants des régions Champagne-Ardenne et Bourgogne</i>	39
<i>illustration 27 : Méthodes courantes de calcul de la rugosité, LSRI, TRI et VRM</i>	40
<i>illustration 28 : Cartographie de la rugosité moyenne des différents bassins versants de la craie des régions Champagne-Ardenne et Bourgogne</i>	41
illustration 29 : Représentation schématique des éléments du bilan hydrologique d'un bassin versant	43
illustration 30 : Principe du modèle hydrologique GARDENIA pour la simulation du débit d'un cours d'eau ou d'un niveau piézométrique (Schéma classique)	45
illustration 31 : Comparaison des débits journaliers et décennaires au droit de deux stations hydrométriques	46
illustration 32 : Caractéristiques morphométriques et pluviométrie des bassins versants suivis.	48
illustration 33 : Valeurs moyennes interannuelles de l'ETP Penman Monteith au droit des stations collectées.....	49
illustration 34 : Stations utilisées pour les modélisations des bassins versants suivis.	51
illustration 35 : Bilans des modélisations.....	54
illustration 36 : Cartographie de l'évapotranspiration réelle moyenne calculée par modélisation sur la période 1980-2011.....	55
illustration 37 : Cartographie de la pluie efficace calculée par modélisation sur la période 1980-2011.	56
illustration 38 : Evaluation de la part de l'écoulement souterrain au droit des stations jaugées.	57
illustration 39 : Valeurs fréquentielles de la recharge annuelle (en mm) au droit de quelques bassins versants	58
Illustration 40 : QMNA5 (m ³ /s) et volume quinquennal disponible tous usages (Mm ³) entre mai et septembre obtenus par ajustement suivant une loi racine Gauss à partir des débits simulés.....	60
Illustration 41 : Tableau récapitulatif des résultats des modélisations GARDENIA (2013) et TEMPO (2006 et 2009) ainsi que les principales valeurs permettant d'explicitier les différences pour quelques bassins versants.....	63
illustration 42 : Décroissances des niveaux piézométriques au piézomètre des Grandes Loges durant des années relativement sèches et vitesse de décroissance (cm/jour).	66
<i>illustration 43 : Niveaux piézométriques fréquents à Fresnes les Reims et aux Grandes Loges</i>	67
<i>illustration 44 : Corrélation entre débit décennaire de la Vesle à Puisieux et niveau piézométrique aux Grandes Loges</i>	67
<i>illustration 45 : Côtes piézométriques au piézomètre des Grandes Loges garantissant un débit égal ou supérieur au débit des différents seuils de la Vesle</i>	68
<i>illustration 46 : Relation débit décennaire de la Vesle à Puisieux - niveau piézométrique au piézomètre des Grandes Loges en phase de vidange (à gauche) et en phase de recharge (à droite)</i>	69
<i>illustration 47 : Variations du débit et du débit spécifique moyens journaliers aux différentes stations de la masse d'eau HG3207 et du niveau piézométrique aux Grandes Loges durant la vidange 2002</i>	69

<i>illustration 48 : Relation débit décadaire de la Suipe à Orainville - niveau piézométrique au piézomètre de Fresnes les Reims</i>	<i>70</i>
<i>illustration 49 : Relation niveau piézométrique au piézomètre de Fresnes les Reims - débit décadaire de la Suipe à Orainville</i>	<i>70</i>
<i>illustration 50 : Relation débit décadaire de la Suipe à Orainville - niveau piézométrique au piézomètre de Fresnes les Reims en phase de vidange (à gauche) et en phase de recharge (à droite)</i>	<i>71</i>
<i>illustration 51 : Vitesse de vidange des aquifères : baisse du niveau piézométrique (exemple sur la masse d'eau (HG3208).</i>	<i>71</i>
<i>illustration 52 : Niveaux piézométriques fréquents à Vailly.....</i>	<i>72</i>
<i>illustration 54 : Relation débit décadaire de la Barbuise - niveau piézométrique au piézomètre de Vailly (données avec pompages et décalage temporel).....</i>	<i>73</i>
<i>illustration 56 : Relation débit moyen journalier (à gauche) et débit spécifique moyen journalier (à droite) des différentes stations de la masse d'eau HG3208 - niveau piézométrique à Vailly en phase vidange pour l'année 2002.</i>	<i>75</i>
<i>illustration 57 : Influence de la pluviométrie sur les relations débit-niveau de la masse d'eau HG3208.....</i>	<i>75</i>
<i>illustration 58 : Relation débit moyen journalier de la Soude et niveau piézométrique à Vailly pendant la période de vidange pour différentes années.....</i>	<i>76</i>
<i>illustration 59 : Relation débit moyen journalier de l'Ardusson et niveau piézométrique à Vailly pendant la période de vidange pour différentes années</i>	<i>77</i>
<i>Illustration 60 : Relation entre débit décadaire mesuré à la station de la Cléry à Ferrières et niveau piézométrique mesuré à Chuelles (1997-2011).....</i>	<i>78</i>
<i>Illustration 61 : Relation débit à la station de la Cléry à Ferrières- Niveau piézométriques à Chuelles simulés sur la période 1972-2011</i>	<i>79</i>
<i>Illustration 62 : Relations débit à la station de la Cléry à Ferrières- niveau piézométrique à Chuelles obtenues à partir de la modélisation et décroissance des débits sous pluie nulle.</i>	<i>80</i>
<i>Illustration 63 : Décroissance maximale des niveaux piézométriques à Chuelles</i>	<i>80</i>
<i>illustration 64 : Prévision des volumes disponibles tous usages confondus (Mm³) entre Mai et Août pour l'année à venir avec une probabilité de 80% et suivant deux configurations initiales au 05 octobre (années 2002 et 2012) au droit des stations jaugées ...</i>	<i>85</i>
<i>illustration 65 : Volumes et débits de prélèvements au droit des points jaugés ponctuellement (campagnes DREAL 2011).</i>	<i>87</i>
<i>illustration 66 : Jaugeages réalisés durant l'étiage 2011 par la DREAL Champagne-Ardenne sur des bassins versants non suivis</i>	<i>88</i>
<i>illustration 67 : Localisation des bassins versants jaugés ponctuellement durant l'étiage 2011 et pluviométrie moyenne interannuelle aux droit de ces bassins versants (données Météo France, méthode Aurelhy).</i>	<i>89</i>
<i>illustration 68 : Estimation de la période de retour de l'étiage 2011</i>	<i>90</i>
<i>illustration 69 : Variation des débits spécifiques des cours d'eau de la masse d'eau HG3207 en 2010-2011</i>	<i>90</i>
<i>illustration 70 : Méthode graphique d'évaluation des QMNA5 des bassins versants jaugés de la masse d'eau HG3207 à l'aide du piézomètre des Grandes Loges.</i>	<i>91</i>
<i>illustration 71 : Evaluation des QMNA5 des bassins versants jaugés de la masse d'eau HG3207 au moyen de la décroissance des débits et des indicateurs piézométriques (Fresnes les Reims et Grandes Loges)</i>	<i>92</i>

<i>illustration 72 : Variation des débits spécifiques des cours d'eau de la masse d'eau HG3208 en 2010-2011</i>	93
<i>illustration 73 : Méthode graphique d'évaluation des QMNA5 des bassins versants jaugés de la masse d'eau HG3208 à l'aide du piézomètre de Vailly</i>	93
<i>illustration 74 : Evaluation des QMNA5 des bassins versants jaugés de la masse d'eau HG3208 au moyen de la décroissance des débits et de l'indicateur piézométrique (Vailly)</i>	94
<i>illustration 75 : Exemple de simulation réalisée sur les bassins versants jaugés : masse d'eau HG3208, BV du Fion, piézomètre de Vailly</i>	96
<i>Illustration 76 : Evaluation et incertitudes des QMNA5 et des volumes disponibles (mai à septembre) tous usages des bassins versants jaugés ponctuellement de la masse d'eau HG3207 par modélisation globale</i>	96
<i>illustration 77 : Evaluation des QMNA5 et des volumes disponibles tous usages des bassins versants jaugés de la masse d'eau HG3207 au moyen des débits simulés par modélisation globale</i>	97
<i>Illustration 78 : Evaluation des incertitudes sur QMNA5 et sur les volumes disponibles (mai à septembre) tous usages de bassins versants jaugés de la masse d'eau HG3208 par modélisation globale</i>	97
<i>illustration 79 : Evaluation des QMNA5 et des volumes disponibles tous usages des bassins versants jaugés de la masse d'eau HG3208 au moyen des débits simulés par modélisation globale</i>	98
<i>illustration 80 : Corrélation pluie-pluie efficace au droit des stations suivies</i>	100
<i>illustration 81 : Evaluation moyenne par masse d'eau des pertes par évapotranspiration réelle</i>	101
<i>illustration 82 : Pluies efficaces moyennes annuelles calculées par corrélations (à gauche) et calculées par valeur moyenne de l'ETP et du taux de satisfaction de l'ETR (à droite) sur la période 1980-2011</i>	102
<i>illustration 83 : Pluies efficaces moyennes annuelles calculées par corrélations (à gauche) et par Météo France (à droite) sur la période 1980-2011</i>	103
<i>illustration 84 : Ruissellement moyen calculé à partir de la pluie efficace et de l>IDPR sur les bassins versants de la craie sur la période 1980-2011</i>	105
<i>illustration 85 : Recharge moyenne calculée à partir de la pluie efficace et de l>IDPR (gauche) et infiltration moyenne calculée par météo France (mailles SAFRAN) sur les bassins versants de la craie sur la période 1980-2011</i>	106
<i>illustration 86 : Corrélations entre LRQMNA5 et Rugosité</i>	107
<i>illustration 87 : Valeurs de volumes disponibles en trois (gauche) et cinq (droite) mois obtenus quatre années sur 5 au droit des stations suivies en fonction de la superficie des bassins versants (km²)</i>	108
<i>illustration 88 : Volumes disponibles (Mm³) par masse d'eau quatre années sur cinq au droit des stations actuellement suivies au moins ponctuellement</i>	108
<i>illustration 89 : Evaluation du QMNA5 au droit des stations suivies au moins ponctuellement</i>	109
<i>illustration 90 : Evaluation de la lame ruisselée correspondante au QMNA5 au droit des stations suivies au moins ponctuellement</i>	110
<i>illustration 91 : Valeur du volume disponible quatre années sur 5 durant les mois de juin à Août au droit des bassins versants suivis au moins ponctuellement</i>	111
<i>illustration 92 : Valeur du volume disponible quatre années sur 5 durant les mois de mai à septembre au droit des bassins versants suivis au moins ponctuellement</i>	112

<i>illustration 93 : Bilan des volumes des ressources et des prélèvements annuels au droit des différentes masses d'eau.</i>	113
<i>illustration 94 : Comparaison des volumes disponibles et des volumes moyens prélevés au droit des bassins versants suivis au moins ponctuellement durant les mois d'étéage</i>	114
<i>illustration 95 : Répartition par bassin versant des volumes prélevés moyens annuels.</i>	115
<i>illustration 96 : Répartitions par bassin versant des volumes moyens annuels prélevés pour l'irrigation.</i>	116
<i>illustration 97 : Pressions des prélèvements : ratio des prélèvements moyens annuels totaux par rapport à la recharge moyenne.</i>	117
<i>illustration 98 : Pressions des prélèvements : à gauche : ratio des prélèvements moyens annuels agricoles par rapport à la recharge moyenne ; A droite : ratio des prélèvements moyens maximums mensuels par rapport au QMNA5.</i>	118

Liste des annexes

Annexe 1 - Fiches des modélisations.	123
Annexe 2 - Tableaux récapitulatifs des principales valeurs résultantes des bassins versants de la craie.	141
Annexe 3 - Agrandissements des cartes présentant les principaux résultats.	147

1. Présentation de l'étude

1.1. CONTEXTE ET OBJECTIFS

Afin d'appliquer la circulaire du 30 juin 2008 relative à la résorption des déficits quantitatifs en matière de prélèvement d'eau et gestion collective des prélèvements d'irrigation et atteindre les objectifs définis dans le 9ème programme de l'Agence de l'eau Seine-Normandie concernant la gestion collective des ressources en eau, l'Agence de l'eau Seine-Normandie et la DREAL Champagne-Ardenne souhaitent améliorer leur connaissance des débits d'étiage et des ressources réellement disponibles sur l'ensemble des bassins versants crayeux.

A cet effet, le BRGM mènera des recherches sur la mise en œuvre d'une méthodologie qui permette de transposer les connaissances acquises lors des études précédentes sur des bassins versants jaugés aux bassins versants à ce jour non jaugés.

1.2. ZONE D'ETUDE

La zone d'étude est délimitée par la zone d'affleurement de la craie et par les limites de la région Champagne-Ardenne. Elle comprend notamment les masses d'eau souterraines de niveau 1 référencées HG3207, 3208 et une partie de 3209.

L'autre partie de cette dernière masse d'eau se situe sur la région Bourgogne, elle sera traitée dans un rapport distinct, réalisé techniquement en parallèle, spécifique pour cette région. Néanmoins, certains éléments techniques situés en Bourgogne seront utilisés, et par conséquent figurent au sein de ce rapport.

1.3. METHODOLOGIE

Pour évaluer les ressources en eau des bassins versants non jaugés il a été proposé de :

- définir sur les bassins versants jaugés (cf. illustration 1) leurs principales caractéristiques, leur fonctionnement hydrogéologique et les ressources en eau qui en découlent. Cette partie reposant principalement sur une modélisation des différents bassins versants suivis.
- d'explicitier et/ou définir les paramètres permettant d'expliquer et/ou justifier sur les bassins versants jaugés leurs différences de fonctionnement et de ressources. En première analyse, des tests ont été réalisés en considérant comme paramètre prépondérant le débit spécifique issu du QMNA5 fourni par la banque HYDRO. A l'aide d'un SIG, l'influence d'autres paramètres tels que l'IDPR, l'encaissement, l'épaisseur de la ZNS (Zone Non Saturée), et la rugosité a été testée sur les bassins versants jaugés. Ces paramètres intégrant de façon non explicite les caractéristiques des sols et leur comportement à l'infiltration, le ruissellement et l'érosion.
- créer des familles de fonctionnement, à l'aide de ces paramètres, et répartir dans celles-ci l'ensemble des bassins versants de la zone à étudier (bassins versants jaugés et non jaugés) ;
- transposer, en tenant compte des particularités locales (variabilité de la pluie et de l'ETP), les résultats des bassins versants jaugés aux bassins versants non jaugés;
- vérifier les résultats obtenus au moyen de quelques mesures spécifiques.

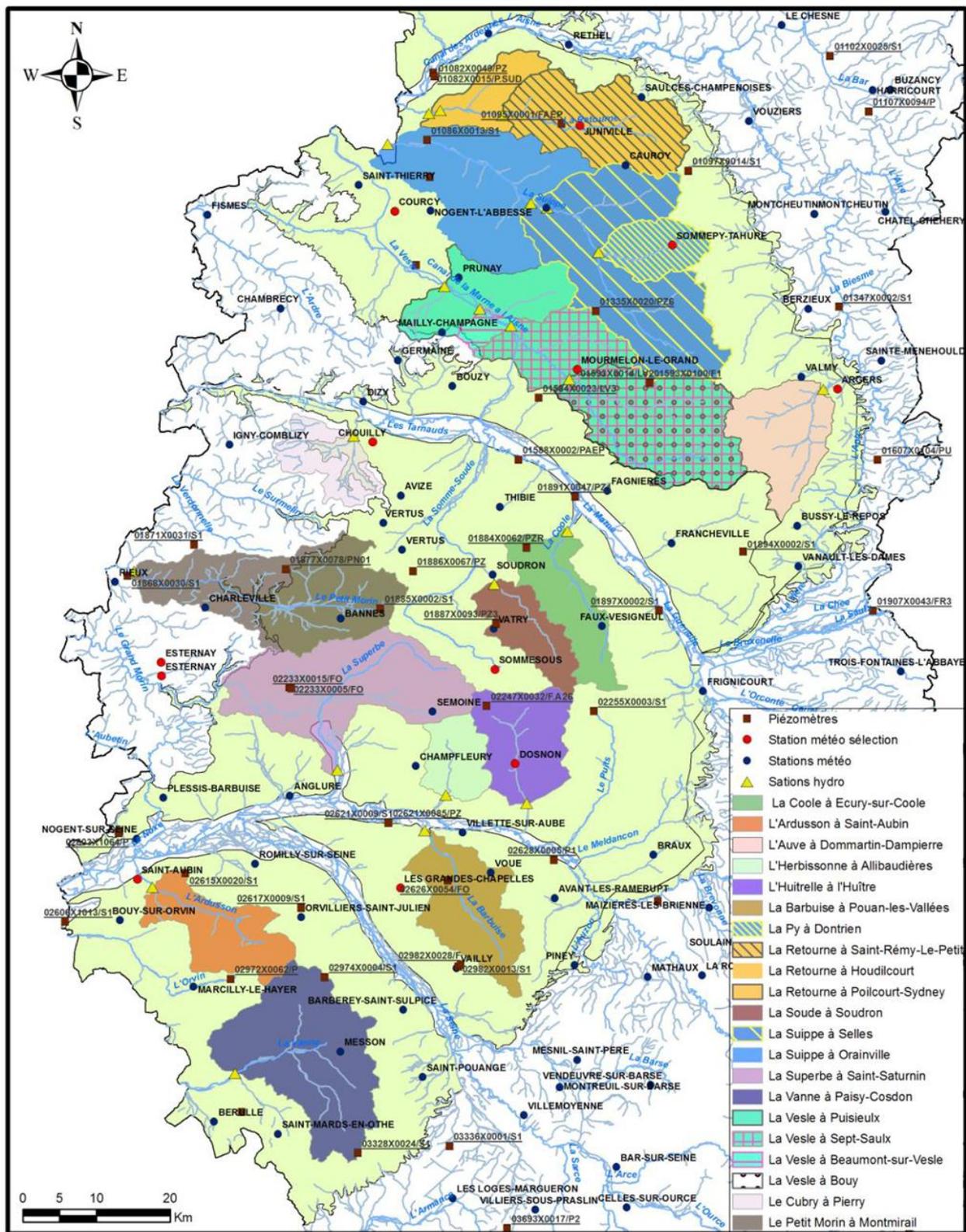


illustration 1 : Localisation des bassins versants jaugés et des stations de mesure utilisés dans l'étude

2. Contexte hydrogéologique

2.1. GENERALITE SUR LA CHAMPAGNE CRAYEUSE

Le texte ci-dessous est constitué d'extraits de « Aquifères et eaux souterraines en France » (cf. bibliographie).

La Champagne représente les aquifères du Crétacé de l'Est du Bassin de Paris. La craie affleure largement sans recouvrement de protection, ce qui confère au réservoir des caractéristiques hydrauliques particulières.

L'aquifère s'étend de la vallée de l'Aisne, au Nord, à celle de l'Aube, au Sud (illustration 2). Il se biseaute pour devenir négligeable à l'Est par l'affleurement des horizons marno-calcaires du Turonien inférieur. À l'Ouest, il plonge sous les formations tertiaires où il devient, sauf exception, très peu productif.

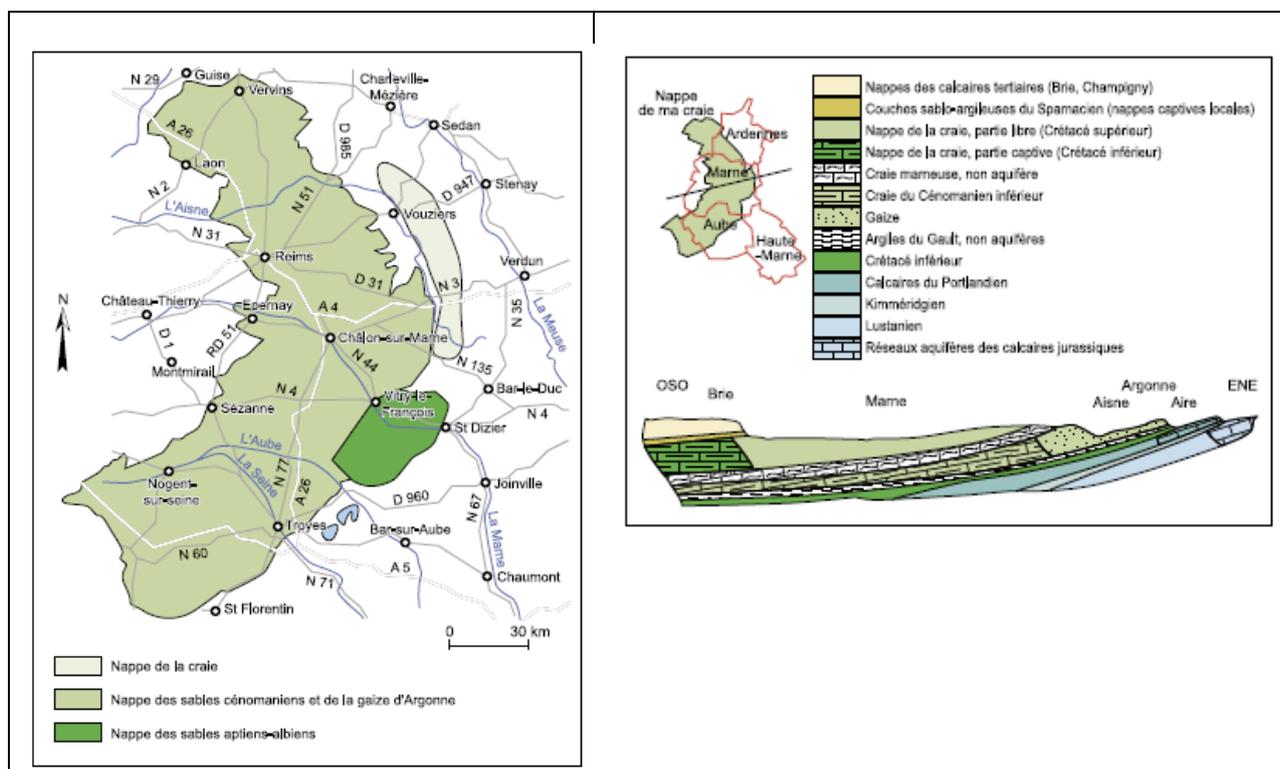


illustration 2 : Localisation, extension et coupe type des aquifères de la craie de Champagne

Le réservoir correspond aux formations crayeuses du Campanien, Santonien, Coniacien et Turonien supérieur, il est constitué d'un calcaire tendre à grains très fins composés de granules de calcite de 5 à 10 μ de diamètre, issus de squelettes de micro-organismes comme les « coccolithes ». En réalité, ces réserves ne sont pas mobilisables de façon homogène.

Quatre types de perméabilité coexistent :

- Une perméabilité de matrice (10^{-6} à 10^{-7} m/s) correspondant à la structure de la roche.

- Une perméabilité de diaclase (10^{-5} à 10^{-2} m/s) due à l'importante phase d'érosion post-crétacé, zone considérée comme le réservoir principal de la nappe de la craie.
- Une perméabilité d'origine tectonique qui se caractérise au niveau des forages d'exploitation par une productivité importante à plus de 40 mètres de profondeur dans les zones où la perméabilité de diaclases ne subsiste plus.
- Enfin une perméabilité de strate pouvant intervenir en profondeur (150 à 250 m).

Compte tenu de ces différents types de perméabilité, il est considéré que le réservoir efficace correspond à une épaisseur sous le niveau du sol de 30 m sous les plateaux et de 40 m sous les vallées à cours d'eau pérenne (illustration 3). Elle correspond à la perméabilité de diaclase la plus représentée dans le réservoir crayeux.

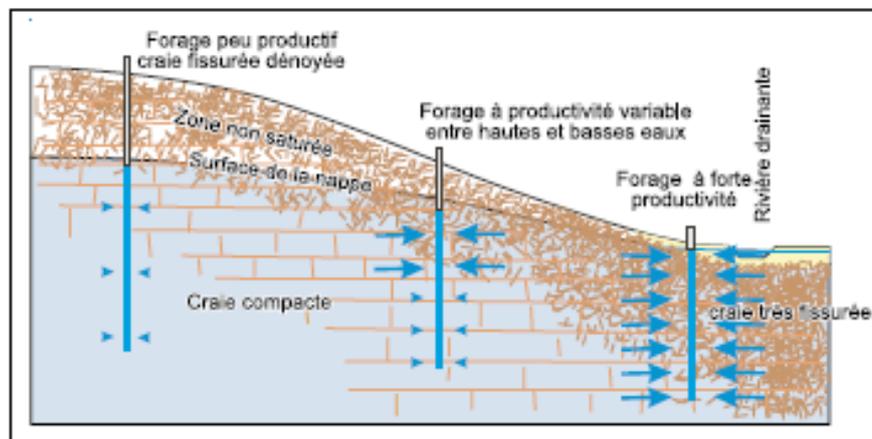


illustration 3 : Productivité de l'aquifère crayeux selon la topographie.

Les valeurs de perméabilité, fortes en surface (10^{-2} m/s), diminuent régulièrement pour être inférieures à 10^{-7} m/s au-delà de 40 m de profondeur, en craie compacte. Il en est de même pour les coefficients d'emmagasinement qui, de 5 % en surface, passent à 1 % en profondeur.

La forte perméabilité de la craie affleurante et la faible épaisseur des formations quaternaires la recouvrant localement, font que les précipitations d'intensités fortes s'infiltrent totalement, ce qui élimine la presque totalité des eaux de ruissellement et diminue la densité du réseau hydrographique qui est l'un des plus faibles de France. Les cours d'eau sont les « trop-plein » de la nappe, leurs débits sont directement liés au niveau de recharge de celle-ci et les courbes de tarissement, très constantes, permettent, dès la fin de la recharge hivernale en avril (débits spécifiques de 3 à 5 l/s/km²), une bonne estimation des débits d'étiage en octobre.

L'impact des prélèvements d'eau effectués dans la nappe de la craie se fait sentir sur le débit du cours d'eau avec un déphasage d'autant plus important qu'ils sont éloignés de celui-ci. Par exemple les prélèvements pour irrigation s'arrêtant au mois d'août accentuent l'étiage des cours d'eau en novembre lorsqu'ils sont effectués à plus d'un kilomètre (illustration 4).

Les cours d'eau ont des sources du type « source de dépression » se déplaçant de plusieurs kilomètres le long du lit en fonction de l'importance de la recharge de la nappe en période d'étiage. Les cours d'eau présentent des « assecs » liés soit à une surexploitation locale de la

nappe, soit à des pentes de rivières localement moins fortes que le gradient de la nappe. Ces « assecs » sont une des préoccupations majeures des pêcheurs et des riverains.

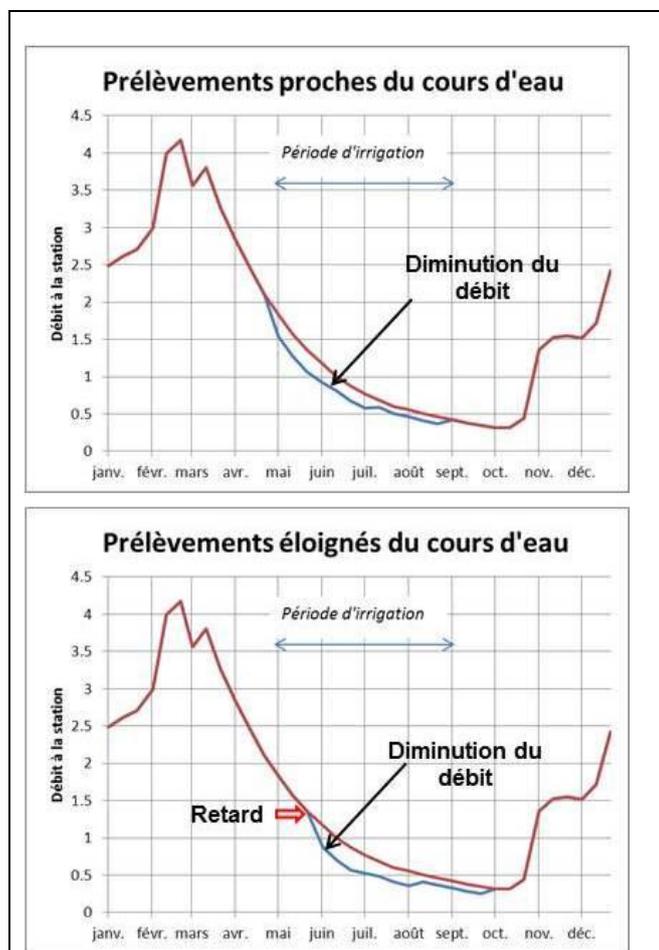


illustration 4 : Impact sur le débit des rivières des prélèvements d'eau pour irrigation de la nappe de la craie

On peut toutefois noter que, d'après les caractéristiques de la craie (illustration 3), la plupart des prélèvements devraient se situer à proximité des cours d'eau ou tout au moins en zone basse, donc avec peu d'influence retardée.

2.2. ANALYSES DES DONNEES COLLECTEES PAR MASSE D'EAU

2.2.1. Masse d'eau HG3207

L'illustration 5 fournit, dans les contours de la Masse d'eau HG3207 de niveau 1 et de superficie d'environ 4670 km² dont 3660 km² d'affleurements, les bassins versants des stations suivies, les stations utilisées et la localisation et type de prélèvements réalisés.

L'illustration 6 permet de visualiser les différentes chroniques piézométriques existantes sur cette masse d'eau et ainsi d'effectuer un choix sur les piézomètres qui seront utilisés pour la modélisation pluie-débit-niveau piézométrique ainsi que celui (ou ceux) à utiliser éventuellement comme piézomètre indicateur.

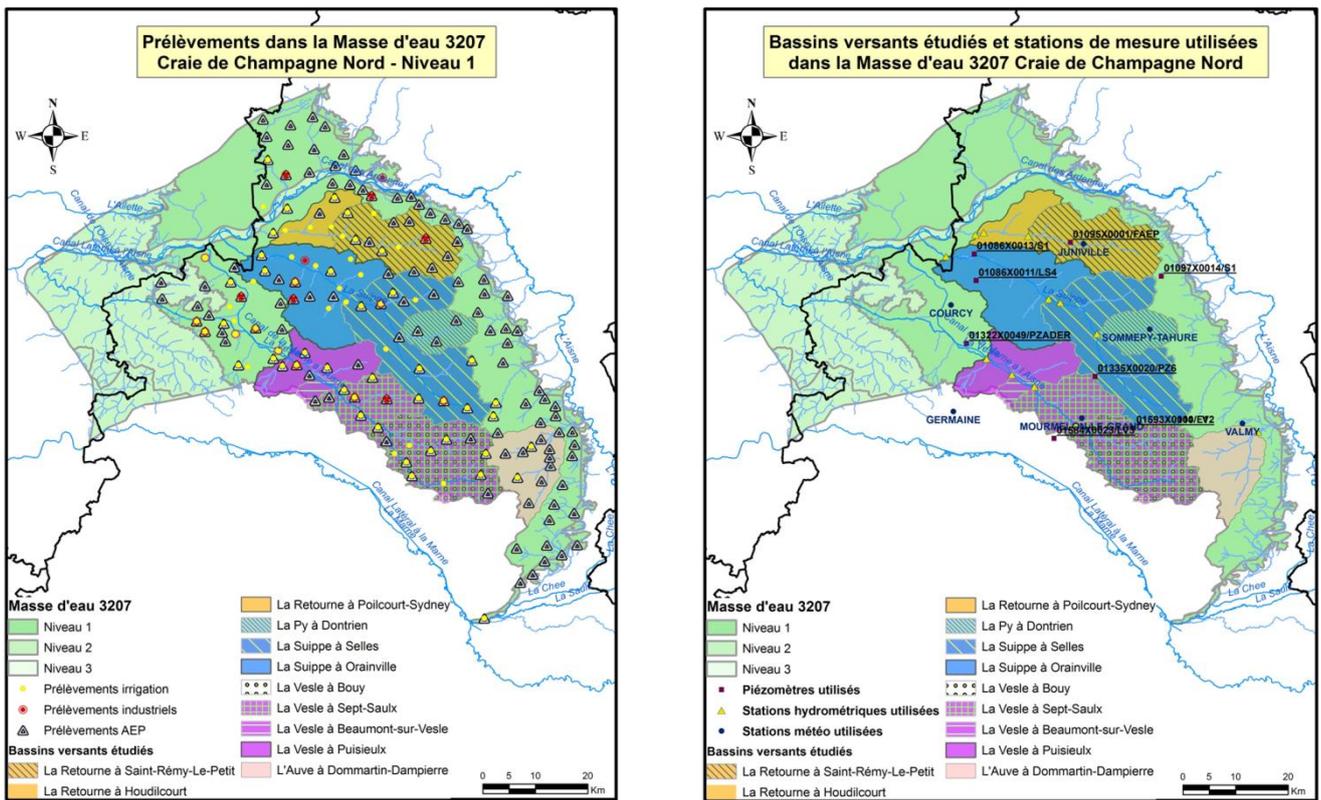


illustration 5 : Localisation des bassins versants, des stations de mesures suivies et des prélèvements au droit de la masse d'eau HG3207

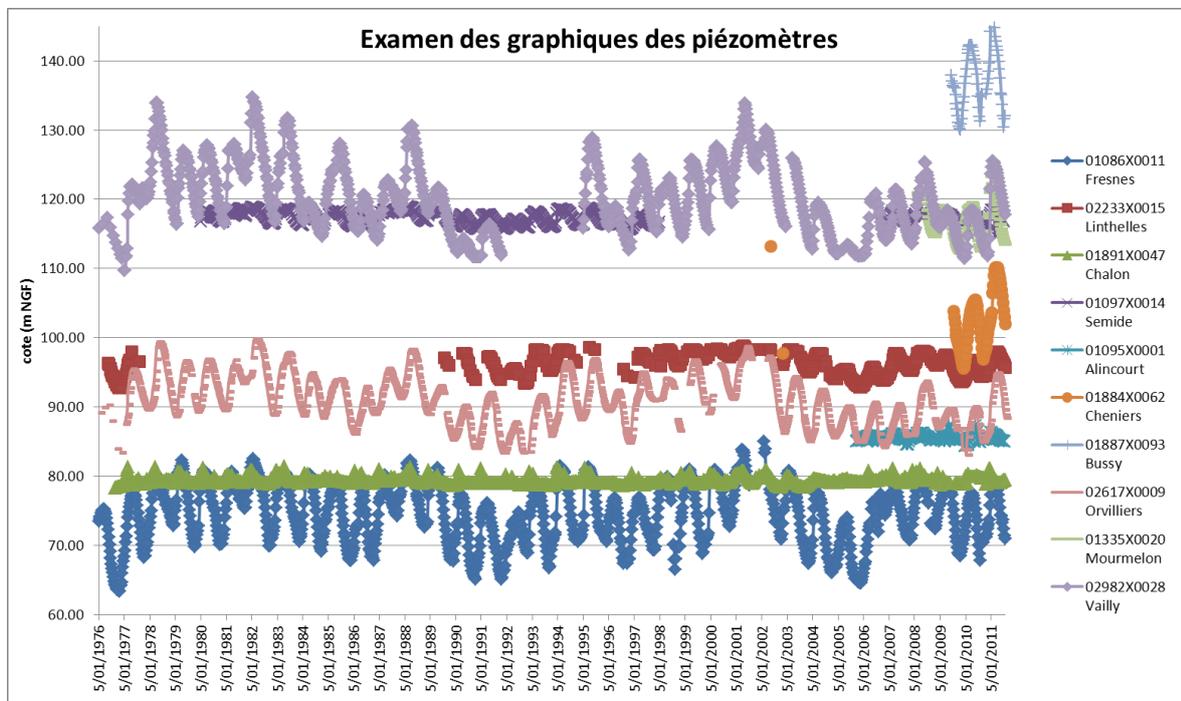


illustration 6 : Analyse visuelle des chroniques des piézomètres situés sur, ou à proximité, de la masse d'eau

2.2.2. Masse d'eau HG3208

L'illustration 7 localise, dans les contours de la Masse d'eau HG3208 (superficie d'environ 6930 km² dont 5240 km² d'affleurements), les bassins versants des stations suivies, les stations utilisées et la localisation et type des prélèvements réalisés.

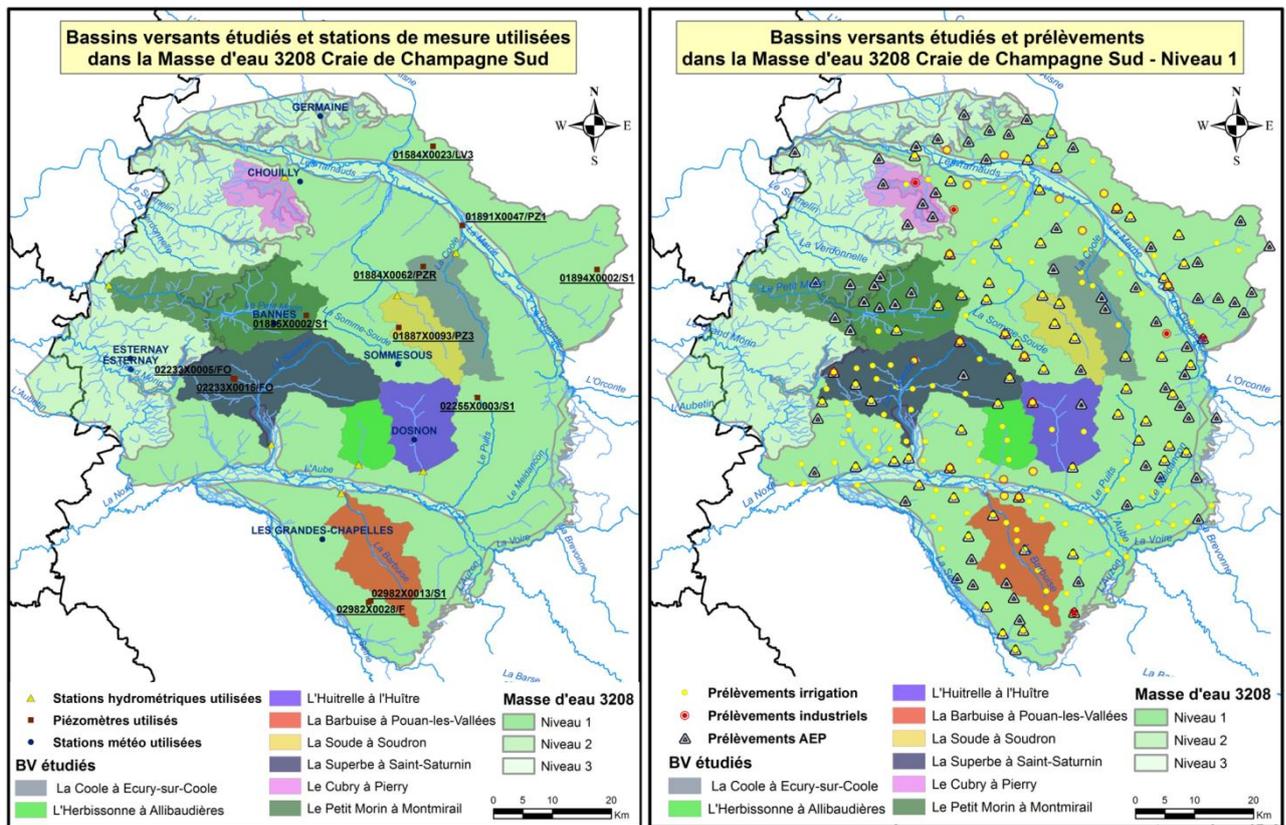


illustration 7 : Localisation des bassins versants, des stations de mesures suivies et des prélèvements au droit de la masse d'eau HG3208

2.2.3. Masse d'eau HG3209

L'illustration 8 fournit, dans les contours de la Masse d'eau HG3209 (de superficie d'environ 2330 km² dont 2240 km² d'affleurements), les bassins versants des stations de Champagne-Ardenne suivies, les stations utilisées et la localisation et type des prélèvements réalisés.

Cette masse d'eau se situe pour moitié en région Bourgogne et pour moitié en région Champagne-Ardenne.

Le bassin versant de la Vanne étant à cheval sur les deux régions, les deux sous bassins ne peuvent être traités indépendamment. Par ailleurs ce bassin est fortement influencé par les prélèvements d'eau de la ville de Paris à des fins d'AEP or, malgré les informations fournies il s'avère, par suite du nombre et de la complexité des installations réalisées, que de fortes incertitudes perdurent sur la répartition temporelle mais également sur la répartition entre prélèvements et trop-plein de la ressource au droit des deux sous bassins de la Vanne.

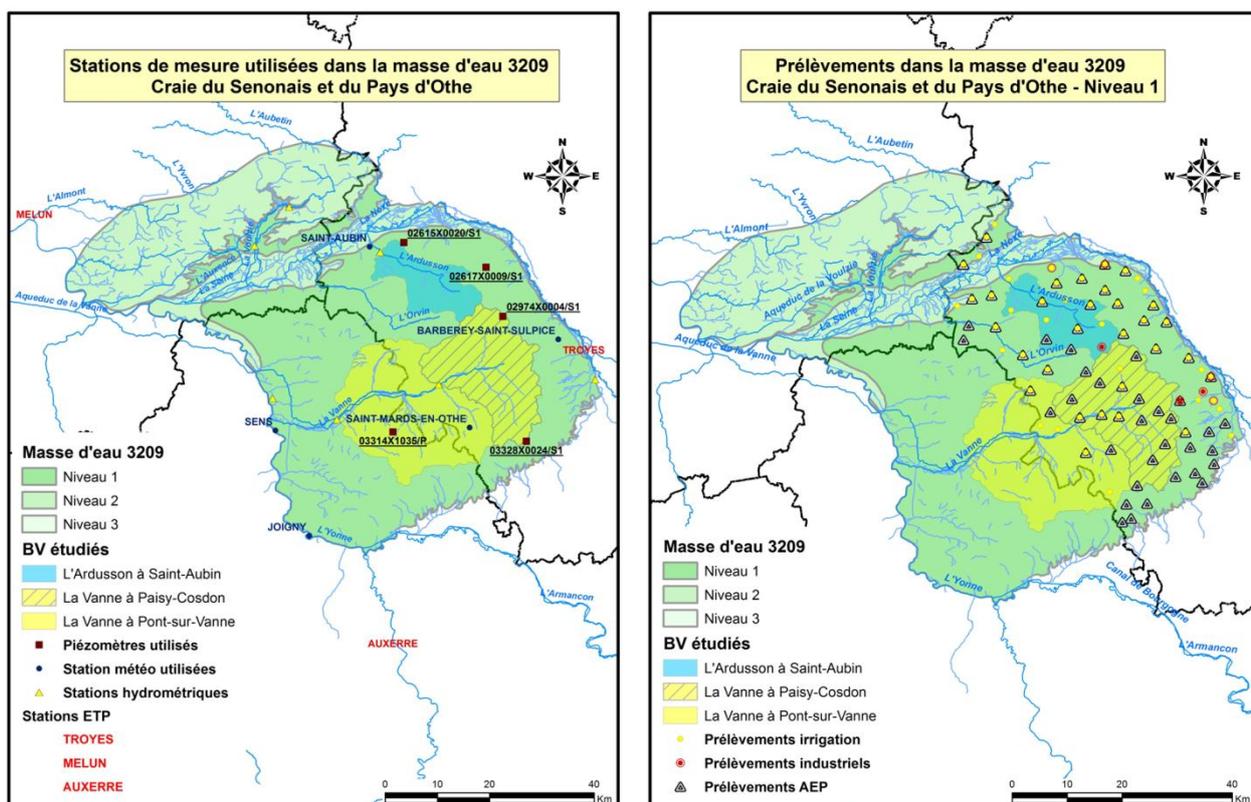


illustration 8 : Localisation des bassins versants, des stations de mesures suivies et des prélèvements au droit de la masse d'eau HG3209

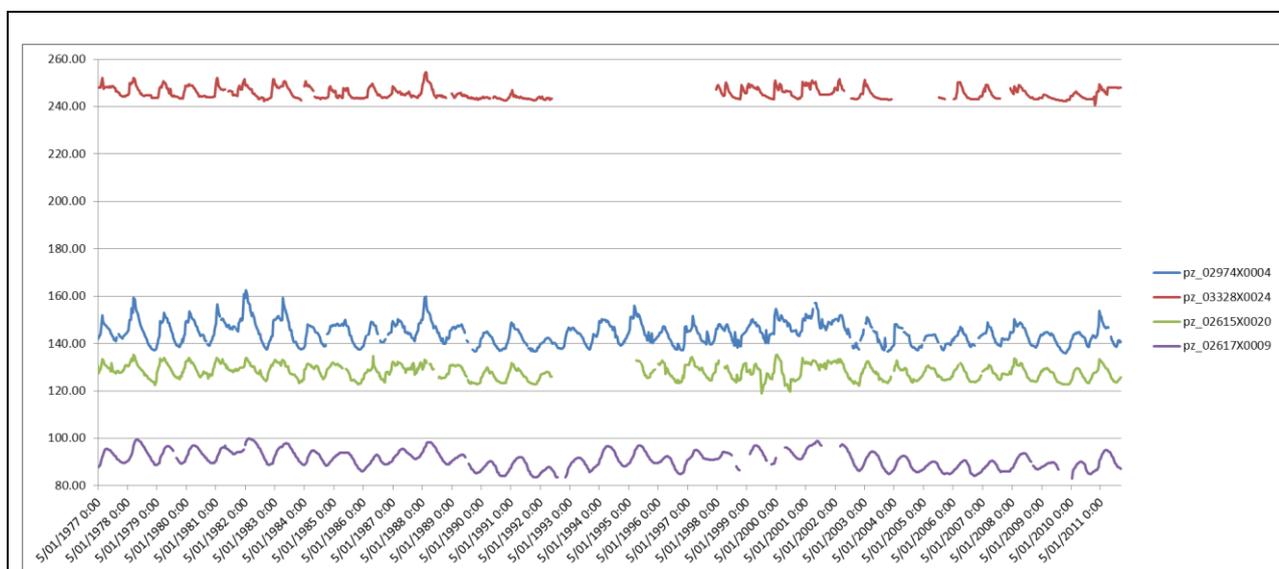


Illustration 9 : Chroniques des principaux piézomètres de la masse d'eau HG3209

2.3. CARACTERISTIQUES DES BASSINS VERSANTS JAUGES

2.3.1. Pluviométrie moyenne Aurelhy 1971-2000

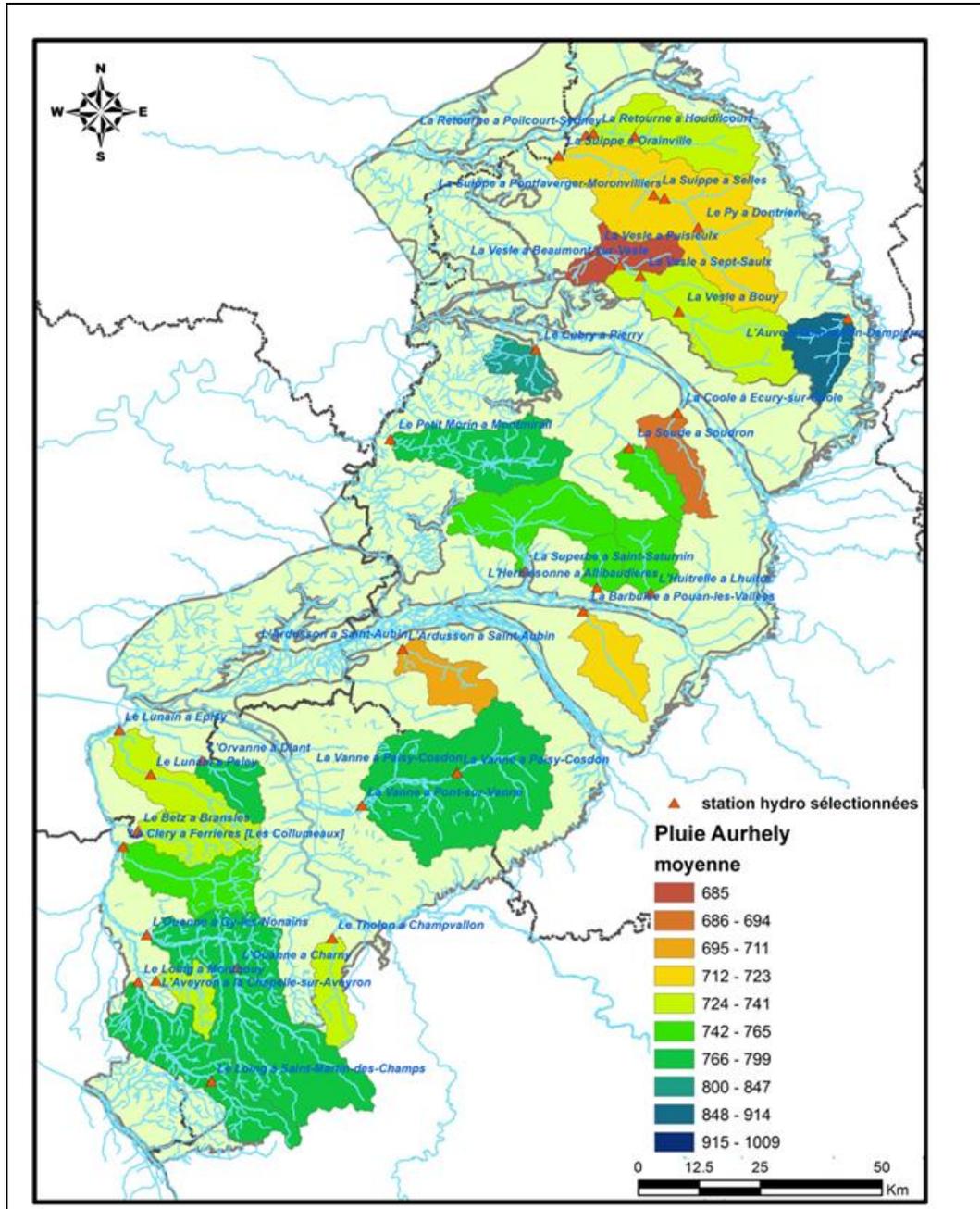


illustration 10 : Pluviométrie moyenne interannuelle au droit des bassins versants suivis sur la période 1971-2000 (données Météo France, méthode Aurelhy).

2.3.2. Caractéristiques principales issues de la banque hydro

Les principales caractéristiques des bassins versants étudiés figurant dans la banque de données « Hydro » ont été collectées et analysées afin de caractériser des différentes familles type. Pour cela les valeurs statistiques traditionnellement utilisées, QMNA₅ pour les étiages et QIX₁₀ pour les crues ont été transformées en :

- $LR(QMNA_5) = QMNA_5/S$
- $A_{10} = QIX_{10}/S^{0.8}$ (formule de type CRUPEDIX)

avec : S = Superficie du bassin versant topographique,

QMNA₅ : débit moyen mensuel minimum annuel de période de retour 5 ans,

QIX₁₀ : débit maximum instantané de période de retour 10 ans.

L'illustration 11 récapitule ces informations de bases collectées ainsi que les variables calculées.

Par ailleurs, il a paru nécessaire de collecter le débit moyen annuel et/ou la lame d'eau écoulée correspondante ainsi que des informations permettant de caractériser la variation moyenne mensuelle interannuelle du débit moyen et/ou de la lame d'eau écoulée. Ces informations figurent dans l'illustration 12.

Les figures suivantes (illustration 13 à l'illustration 15) fournissent la répartition géographique des différents paramètres calculés.

On constate ainsi, pour les bassins versants suivis de Champagne-Ardenne, que :

- Pour un même bassin versant de Champagne Ardenne, il y a peu de différence entre le QMNA₅ et le VCN₃
- la lame ruisselée correspondante au QMNA₅, varie entre 0 et 2,25 l/s/km², voire 3,12 l/s/km² pour la Vanne à Pont sur Vanne,
- la lame d'eau écoulée moyenne annuelle est supérieure au droit de la masse d'eau HG3207, 177 mm, pour 160 mm au droit de la masse d'eau HG3208,
- la lame d'eau moyenne minimale mensuelle est très faible. Elle varie entre 1 et 9 mm avec une moyenne de 5 mm (HG3207) et 4 mm (HG3208) et se produit généralement en septembre,
- la lame d'eau moyenne maximale mensuelle varie entre 17 et 39 mm avec une moyenne de 27 mm (HG3207) et 24 mm (HG3208). Ce maximum se produit généralement en mars-avril (HG3207) ou février-mars (HG3208),
- Le coefficient A10 varie entre :
 - o 0.04 et 0.18 pour la région Champagne Ardenne,
 - o 0.06 et 0.46, voire 0.54 si l'on considère l'Ouanne à Toucy, pour la région Bourgogne,

Connaissance des ressources réellement disponibles sur l'ensemble des bassins versants crayeux
Bassin Seine-Normandie en Champagne-Ardenne

cours d'eau	station	numero	superficie bv km2	altitude (m) station	masse d'eau	periode	lame d'eau moyenne (mm)	qma5 (l/s)	VCN3 (5) (l/s)	Lr Vcn3 5	QIX10 (m3/s)	Lr qma5	A10
l'Auve	Dommartin-Dampierre	H6033210	173	140	HG207	1993-2011	248	300	260	1.50	6.40	1.73	0.10
La Retourne	Poilcourt Sydney	H6303810	322	60	HG207	1970-1988	168	350	270	0.84	4.80	1.09	0.05
La Retourne	Houdilcourt	H6303820	318	64	HG207	1970-1999	156	340	240	0.75	4.80	1.07	0.05
La Suippe	Orainville	H6313020	802	60	HG207	1968-2012	167	710	650	0.81	13.00	0.89	0.06
La Suippe	Selles	H6313030	486	87	HG207	1968-2012	180	500	430	0.88	8.20	1.03	0.06
Le Py	Dontrien	H6313210	89	105	HG207	1969-1988	202	190	170	1.91	1.80	2.13	0.05
La Vesle	Bouy	H6402010	286	104	HG207	1967-2012	165	58	33	0.12	5.30	0.20	0.06
La Vesle	Puisieux	H6402030	603	81	HG207	1983-2011	140	230	170	0.28	10.00	0.38	0.06
La Vesle	Beaumont sur Vesle	H6402040	446	85	HG207	1985-2002	165	200	140	0.31	8.30	0.45	0.06
L'Huitrelle	Lhuitre	H1503510	160	99	HG208	1997-2012	205	230	190	1.19	4.20	1.44	0.07
L'Herbissonne	Allibaudières	H1503910	87	91	HG208	1970-2012	114	0	0	0.00	1.40	0.00	0.04
La Barbuise	Poan-les-Vallées	H1513210	187	86	HG208	1970-2011	125	19	6	0.03	2.80	0.10	0.04
La Superbe	Saint Saturnin	H1603010	320	79	HG208	1970-2011	160	63	37	0.12	6.40	0.20	0.06
La Coole	Ecury sur Coole	H5204210	150	85	HG208	1996-2012					1.80		0.03
la Soude	Soudron	H5213310	105	110	HG208	1968-2011	164	30	24	0.23	2.20	0.29	0.05
Le Cubry	Pierry	H5224310	99	84	HG208	1987-2011	165	160	130	1.32	6.70	1.62	0.17
Le Petit Morin	Montmirail	H5412010	354	120	HG208	1969-2012	178	480	420	1.19	16.00	1.36	0.15
Le Petit Morin	Jouarre	H5412020	605		HG208	1962-2012	172	850	680	1.12	30.00	1.40	0.18
L'Ardusson	Saint Aubin	H1713010	159	71	HG209	1970-2012	128	7	0	0.00	2.70	0.04	0.05
La Vanne	Paisy-Cosdon	H2602010	347	115	HG209	1970-1996	174	780	670	1.93	6.00	2.25	0.06
Le Tholon	Champvallon	H2513110	131	87	HG209	1968-2012	197	260	230	1.76	6.40	1.98	0.13
La Vanne	Pont sur Vanne	H2622010	866	88	HG209	1963-2012	192	2700	2400	2.77	14.00	3.12	0.06
Le Loing	Montbouy	H3021010	409	110	HG210	1980-2012	145	110	49	0.12	31.00	0.27	0.25
L'Aveyron	La Chapelle sur Aveyron	H3023211	99	112	HG210	1980-2012	147	49	31	0.31	18.00	0.49	0.46
L'Ouanne	Toucy	H3102010	153	184	HG210	1969-2012	196	49	33	0.22	30.00	0.32	0.54
L'Ouanne	Charny	H3122010	562	133	HG210	1969-2012	201	610	470	0.84	63.00	1.09	0.40
L'Ouanne	Gy les Nonains	H3122030	883	99	HG210	1969-2012	167	930	670	0.76	89.00	1.05	0.39
La Cléry	Ferrières	H3403102	270	75	HG210	1997-2012	151	610	530	1.96	14.00	2.26	0.16
Le Betz	Branles	H3403201	157	83	HG210	1996-2012	116	100	63	0.40	12.00	0.64	0.21
Le Lunain	Paley	H3613010	163	85	HG210	1976-2012	163	170	140	0.86	8.20	1.04	0.14
Le Lunain	Episy	H3613020	252	51	HG210	1969-2012	85	190	150	0.60	6.00	0.75	0.07
l'Orvanne	Blennes	H3623010	108	103	HG210	1977-2011	105	150	130	1.20	4.40	1.39	0.10

illustration 11 : informations de base collectées auprès de la banque « Hydro » et variables calculées qui en découlent.

Nota Bene : Le Cubry à Pierry a été abandonné pour la suite de l'étude car il n'est que très faiblement « crayeux ».

Connaissance des ressources réellement disponibles sur l'ensemble des bassins versants crayeux
Bassin Seine-Normandie en Champagne-Ardenne

cours d'eau	station	numero	superficie bv km2	altitude (m) station	masse d'eau	periode	lame d'eau moyenne (mm)	lame d'eau mini (mm)	mois	ratio	lame d'eau maxi (mm)	mois	ratio
l'Auve	Dommartin-Dampierre	H6033210	173	140	HG207	1993-2011	248	7	9	2.8%	39.00	3	15.7%
La Retourne	Poilcourt Sydney	H6303810	322	60	HG207	1970-1988	168	7	9	4.2%	22.00	4	13.1%
La Retourne	Houdilcourt	H6303820	318	64	HG207	1970-1999	156						
La Suipe	Orainville	H6313020	802	60	HG207	1968-2012	167	5	9	3.0%	23.00	4	13.8%
La Suipe	Selles	H6313030	486	87	HG207	1968-2012	180			0.0%			0.0%
Le Py	Dontrien	H6313210	89	105	HG207	1969-1988	202	9	10	4.5%	26.00	4	12.9%
La Vesle	Bouy	H6402010	286	104	HG207	1967-2012	165	3	9	1.8%	28.00	3	17.0%
La Vesle	Puisieulx	H6402030	603	81	HG207	1983-2011	140	4	9	2.9%	26.00	3	18.6%
La Vesle	Beaumont sur Vesle	H6402040	446	85	HG207	1985-2002	165	3	9	1.8%	22.00	3	13.3%
						moy 207	177	5	9	2.6%	27	3	13.0%
L'Huitrelle	Lhuitre	H1503510	160	99	HG208	1997-2012	205	7	9	3.4%	30.00	3	14.6%
L'Herbissonne	Allibaudières	H1503910	87	91	HG208	1970-2012	114	1	9	0.9%	19.00	3	16.7%
La Barbuise	Poan-les-Vallées	H1513210	187	86	HG208	1970-2011	125	4	10	3.2%	17.00	4	13.6%
La Superbe	Saint Saturnin	H1603010	320	79	HG208	1970-2011	160	3	9	1.9%	25.00	3	15.6%
La Coole	Écury sur Coole	H5204210	150	85	HG208	1996-2012							
la Soude	Soudron	H5213310	105	110	HG208	1968-2011	164	3	9	1.8%	28.00	3	17.1%
Le Petit Morin	Montmirail	H5412010	354	120	HG208	1969-2012	178	5	8	2.8%	25.00	2	14.0%
Le Petit Morin	Jouarre	H5412020	605		HG208	1962-2012	172	5	9	2.9%	25.00	2	14.5%
						moy 208	160	4	9	2.4%	24	3	15.2%
L'Ardusson	Saint Aubin	H1713010	159	71	HG209	1970-2012	128	3	9	2.3%	18.00	4	14.1%
La Vanne	Paisy-Cosdon	H2602010	347	115	HG209	1970-1996	174	8	9	4.6%	20.00	4	11.5%

illustration 12 : Lamme d'eau moyenne inter annuelle et lames d'eau moyennes mensuelles interannuelles extrêmes au droit des différentes stations.

Connaissance des ressources réellement disponibles sur l'ensemble des bassins versants crayeux
 Bassin Seine-Normandie en Champagne-Ardenne

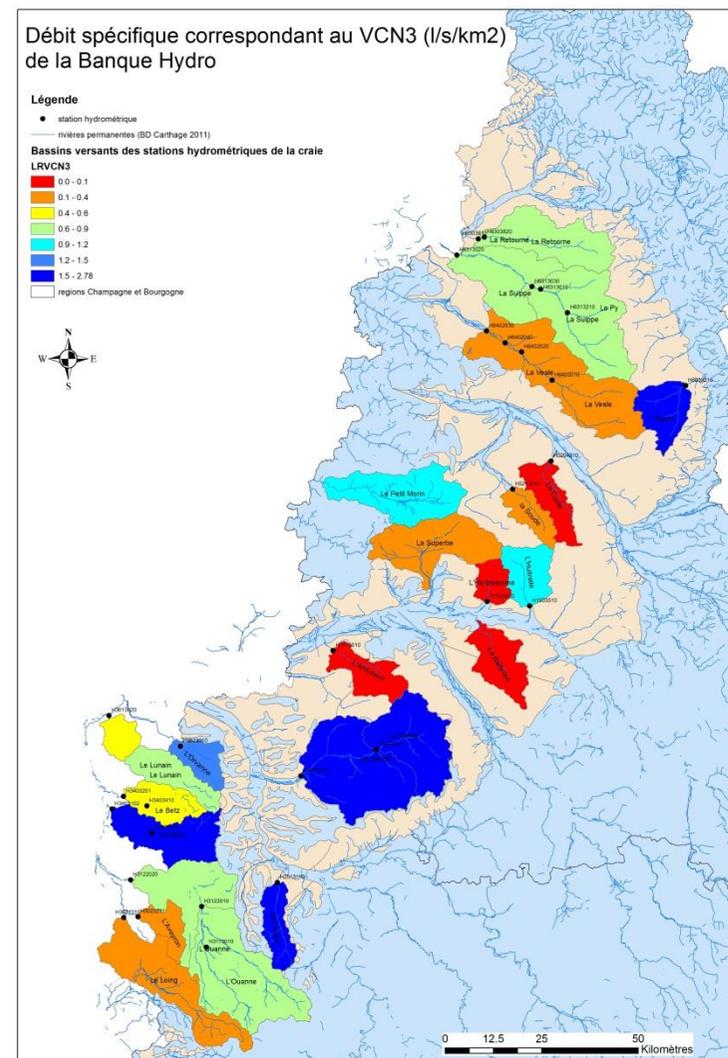
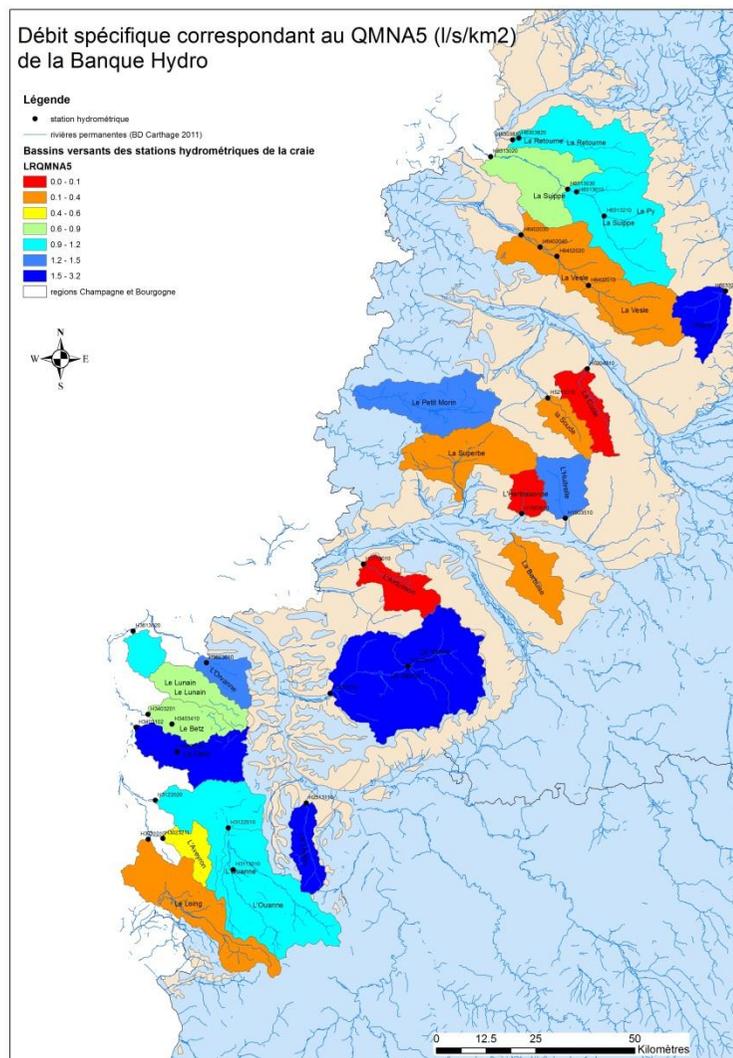


illustration 14 : Cartographie des débits spécifiques correspondant aux débits moyens mensuels minimaux annuels et aux débits minimaux d'étiage moyens sur 3 jours de période de retour 5 ans au droit des stations jaugées.

On peut ici déjà constater que les valeurs fortes correspondent à des bassins versants non « entièrement crayeux », dont notamment les bassins versants de la région Bourgogne.

Nota Bene : Par suite des nombreux assecs, peu d'informations de débits figurent dans la banque HYDRO pour la station de La Coole à Ecury sur Coole (cf. illustration 11).

2.3.3. Variation mensuelle des débits

La faible variation mensuelle des débits (illustration 16) est caractéristique des bassins versants à faible ruissellement et a forte régulation annuelle des bassins versants crayeux. Les figures suivantes (illustration 17 et illustration 18) présentent les répartitions mensuelles (en %) de la lame d'eau ruisselée moyenne interannuelle. L'examen plus détaillé de cette variation conduit à distinguer deux familles différentes, la famille 1 ayant des variations plus marquées avec des étiages plus sévères.

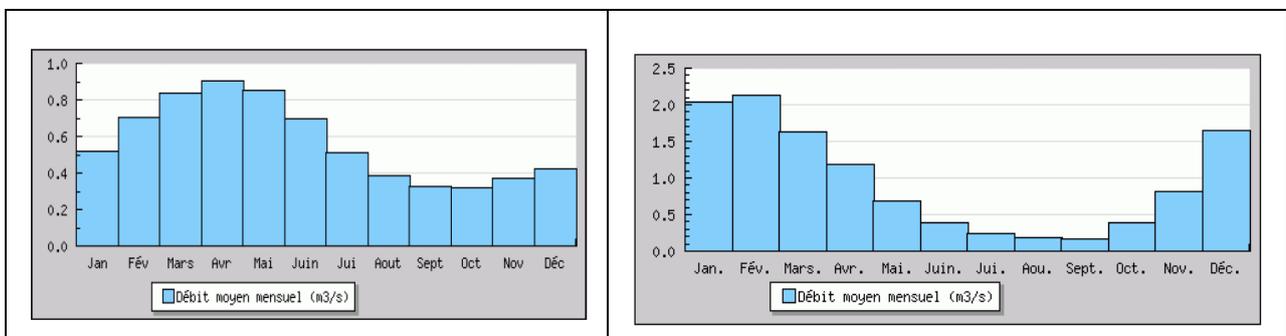


illustration 16 : Variation du débit moyen mensuel interannuel du Py à Dontrien (à gauche) et de l'Ouanne à Toucy (à droite, bv. non totalement crayeux).

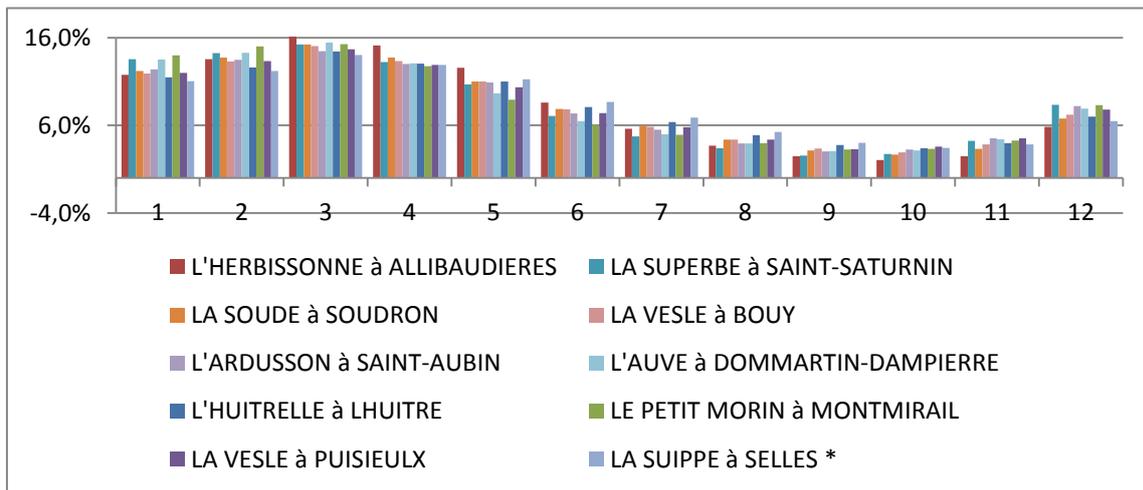


illustration 17 : Répartition mensuelle des débits moyens interannuels au sein des bassins versants de la craie de Champagne-Ardenne (Famille 1).

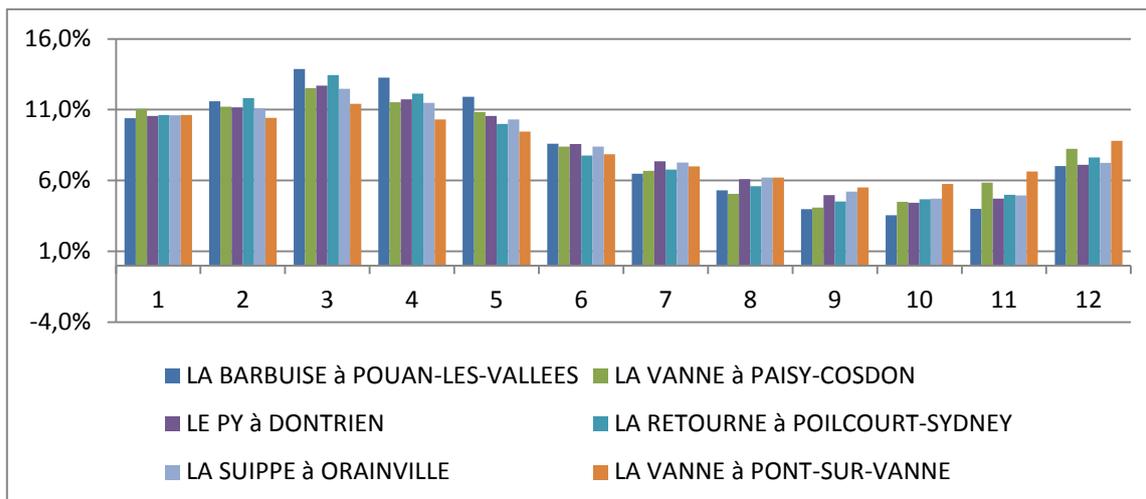


illustration 18 : Répartition mensuelle des débits moyens interannuels au sein des bassins versants de la craie de Champagne-Ardenne (Famille 2).

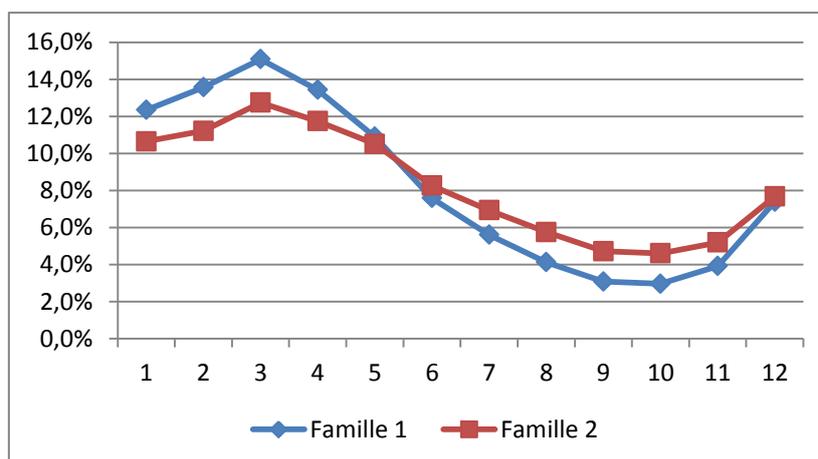


illustration 19 : Différence de répartition des débits moyens mensuels interannuels entre les deux familles.

La Suipe à Selles et la Barbuise à Pouan les Vallées sont intermédiaires entre les deux familles. La répartition la plus homogène est obtenue à la station de la Vanne à Pont sur Vanne, la plus variable étant, si l'on ne tient pas compte de la Soude et de la Coole ayant des débits d'étiage nuls, celle de l'Herbissonne à Allibaudières.

Cette différence de répartition peut s'expliquer, au moins en partie (à certaines stations), par un écoulement non mesuré (sous écoulement ou transfert vers un autre bassin) aux stations de la famille 1.

2.4. CARACTERISTIQUES DES BASSINS VERSANTS NON JAUGES

Les autres bassins versants de la craie ont été définis au moyen du MNT national au pas de 50m (BD Alti) avec pour limites le tracé des masses d'eau de niveau 1 (affleurement) de la craie. Seuls les bassins versants de superficie supérieure ou égale à 10 km² ont été conservés.

On obtient ainsi les 161 bassins versants figurant sur l'illustration 20 avec :

- 37 bassins versants pour la masse d'eau HG3207 d'une superficie totale de 3446 km²,
- 52 bassins versants pour la masse d'eau HG3208 d'une superficie totale de 6860 km²,
- 39 bassins versants pour la masse d'eau HG3209, d'une superficie totale de 2225 km² (dont la moitié environ située en région Bourgogne),
- 33 bassins versants pour la masse d'eau HG3210 (région Bourgogne) d'une superficie totale de 3228 km².

2.4.1. Courbes piézométriques existantes

- **Masse d'eau HG3207**

Deux des courbes piézométriques existantes de cette masse d'eau sont reportés sur l'illustration 21. On constate d'après ces courbes qu'une partie des eaux souterraines du bassin versant topographique de la Vesle amont s'écoule vers la Marne, au droit de Chalons.

- **Masses d'eau HG3208 à HG3210**

Une campagne spécifique, comportant de très nombreuses mesures piézométriques, a été réalisée en basses eaux 2011 dans le cadre de la réalisation de l'étude, similaire à celle-ci, en partenariat avec la région Bourgogne, l'AESN et la DRIEE-DBSN.

Les courbes piézométriques sont reportées sur l'illustration 22. L'examen de ces courbes permet de définir des directions d'écoulements souterrains différentes des thalwegs principaux. Ces principales directions sont reportées sur l'illustration 22 et sur l'illustration 23. On constate ainsi de nombreux échanges inter bassins durant ces basses eaux, échanges qui peuvent être toutefois très différents en moyennes ou hautes eaux. Sur cette carte, les bassins versants ont été colorés:

- en jaune pour ceux ayant des lignes d'écoulement différentes du thalweg principal c'est-à-dire pour lesquels des débits sortant ne sont pas mesurés à l'exutoire,
- en vert, ceux n'ayant pas, a priori, de lignes d'écoulement hors thalweg principal. Cela ne signifie pas cependant que tous les écoulements sont mesurés à la station dans la mesure où il peut y avoir des sous-écoulements au droit de celle-ci,
- en hachuré des bassins versants pouvant bénéficier, d'après la piézométrie 2011 et les informations existantes par ailleurs, d'apports extérieurs mais pouvant également posséder des pertes.

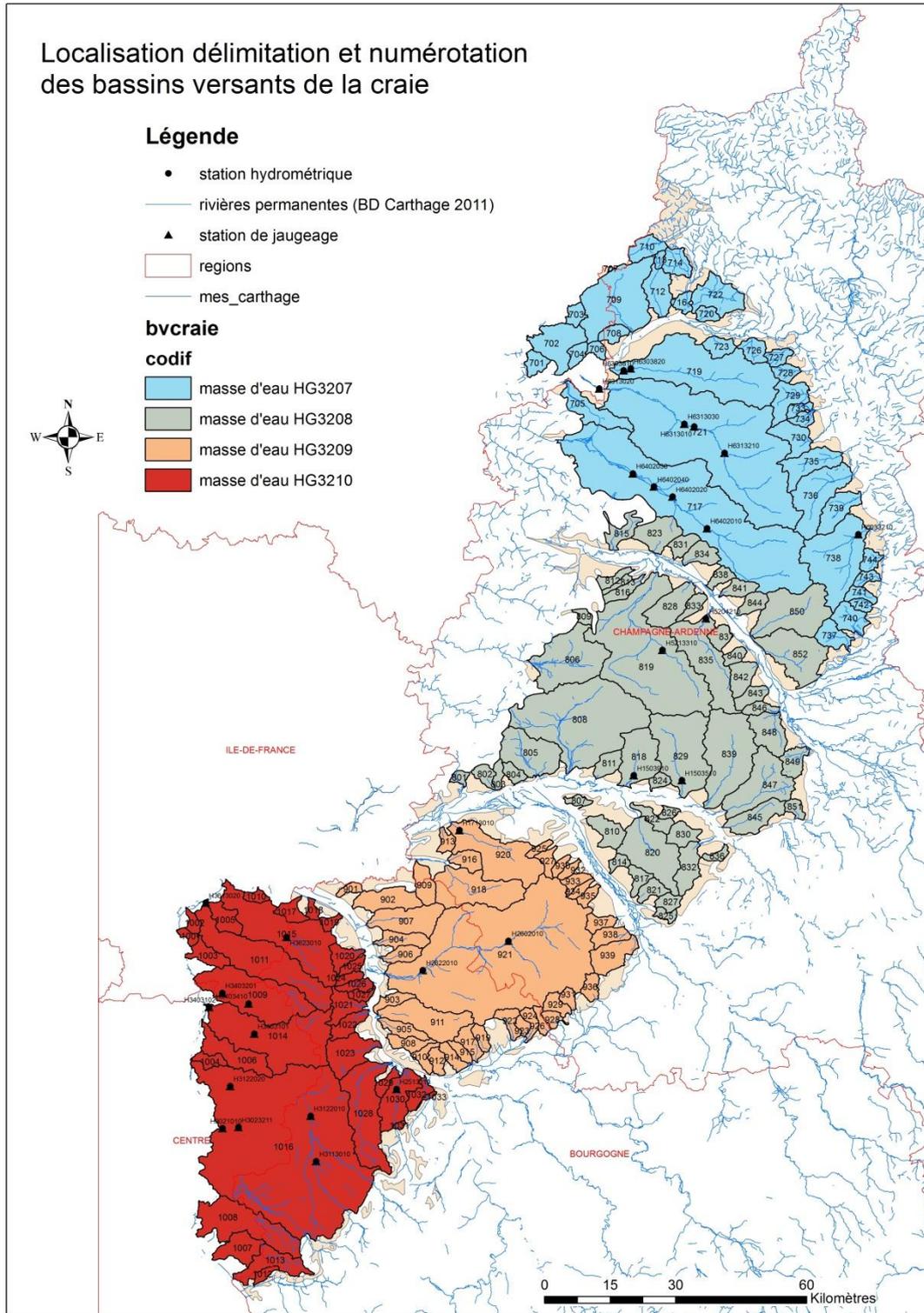


illustration 20 : Délimitations et numérotations des bassins versants de la craie sur les régions Champagne-Ardenne et Bourgogne

Connaissance des ressources réellement disponibles sur l'ensemble des bassins versants crayeux
 Bassin Seine-Normandie en Champagne-Ardenne

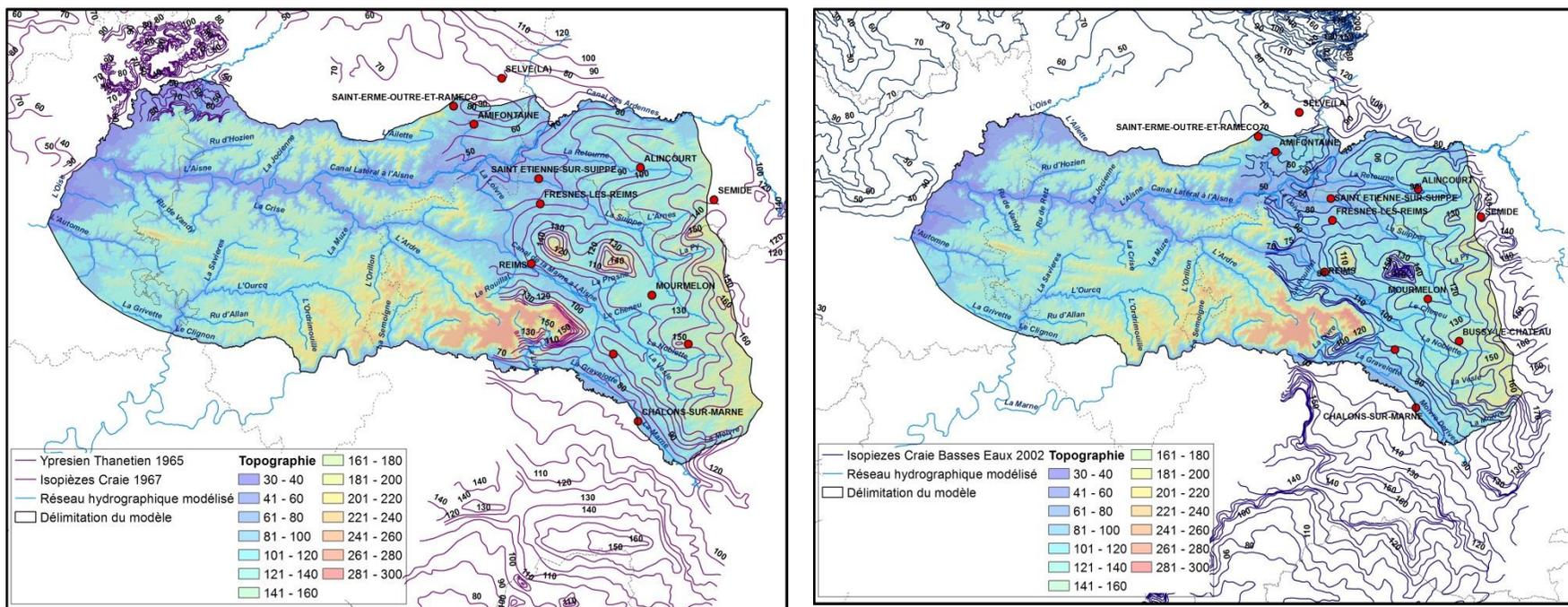


illustration 21 : Courbes piézométriques de 1967 (à gauche) et 2002 (à droite) de la masse d'eau HG3207

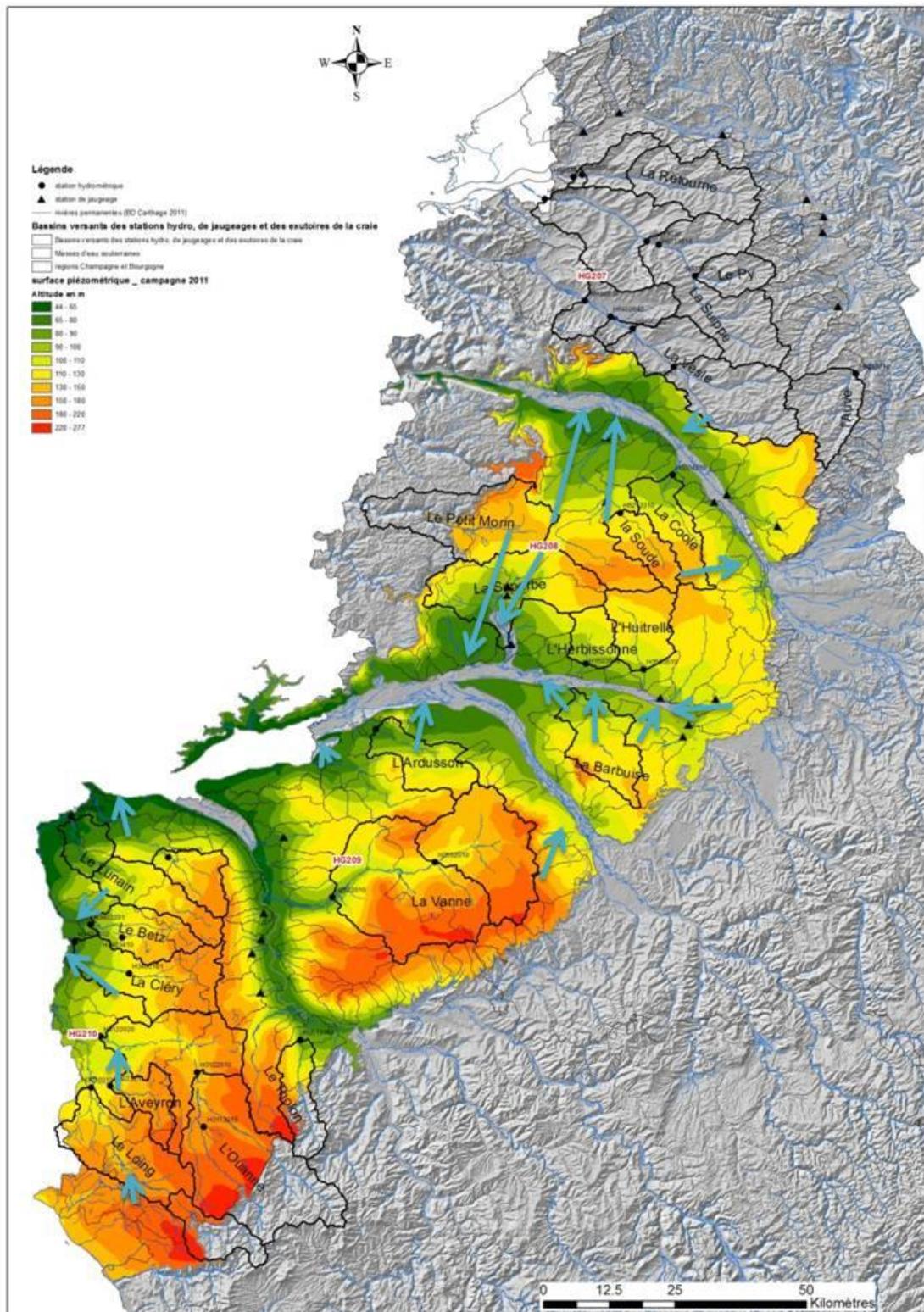


illustration 22 : Isopièzes de basses eaux de septembre 2011 et principales directions d'écoulements souterrains non contrôlés au droit des stations hydrométriques.

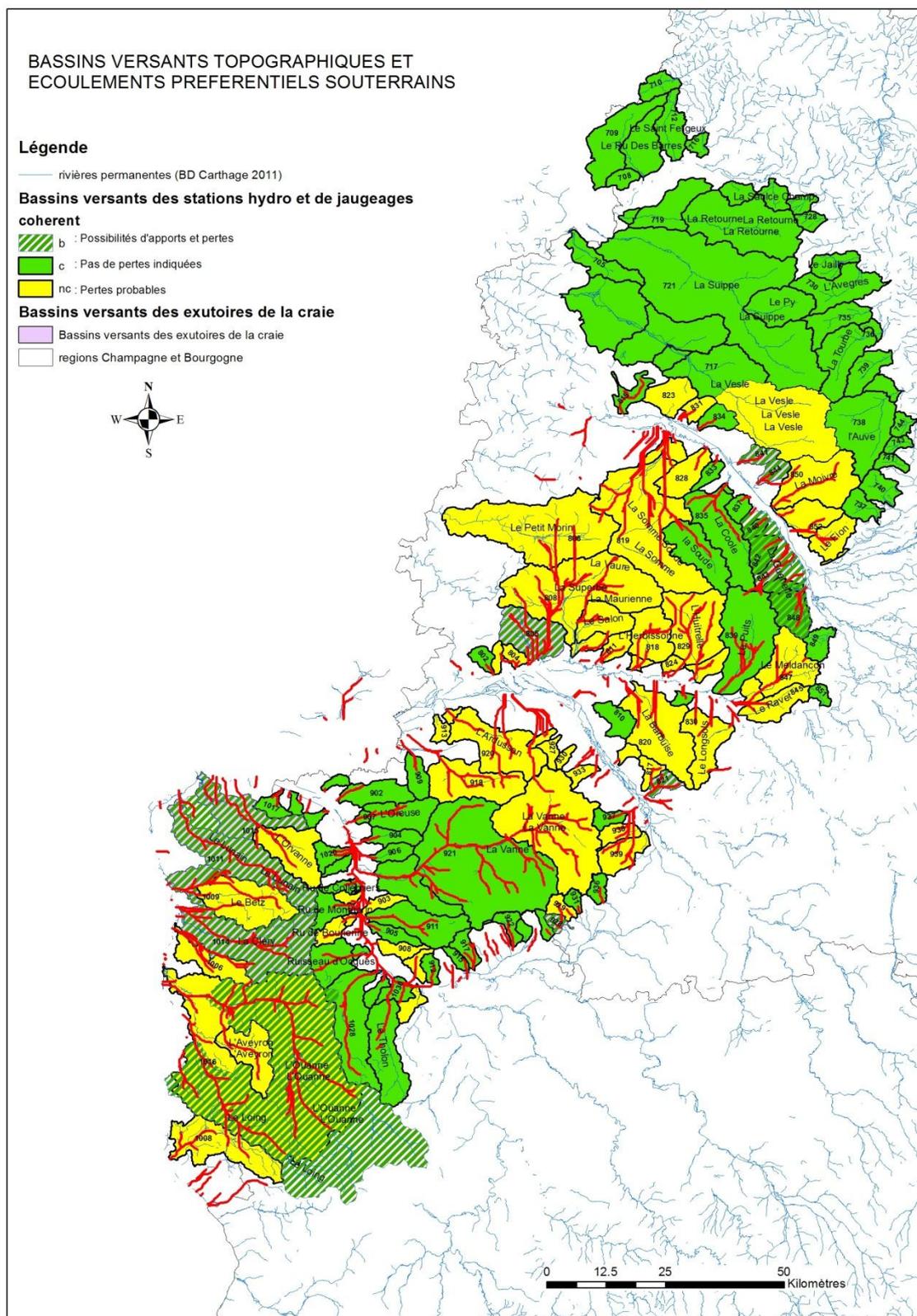


illustration 23 : Carte des bassins présentant des écoulements préférentiels souterrains d'après la campagne piézométrique 2011.

2.4.2. IDPR : Indice De Persistence des Réseaux

« Le réseau hydrographique correspond à tout écoulement linéaire concentré sur la surface topographique qu'il transforme progressivement. Il représente un état du cycle de l'eau, celui de l'écoulement qui suit le chemin le plus facile, minimisant sans cesse leur entropie ».

En 1972, Robert Prud'homme, un des précurseurs français en matière d'analyse des réseaux hydrographiques, montre l'intérêt de ces types d'analyse pour les études géologiques, car : "les caractères du réseau hydrographique sont extrêmement dépendants au cours de leur évolution de l'état du bassin versant". Il ajoute : "les trois paramètres dont les variations nous semblent les plus importantes dans l'étude des réseaux hydrographiques sont la topographie, les structures géologiques et la composition lithologique du sous-sol". R. Prud'homme expérimente donc l'analyse cartographique des réseaux hydrographiques et donne un certain nombre de corrélations très pertinentes. Kim Woo-Gwan poursuit ces travaux et approfondit l'analyse des réseaux hydrographiques.

Dans les années 1990, Deffontaines insiste sur l'intérêt du réseau hydrographique pour une approche morpho-structurale : "Le réseau hydrographique est principalement modifié par la lithologie et la fracturation". En parallèle, Riazanoff propose des méthodes automatiques d'extraction et d'analyse de réseaux hydrographiques, en faisant apparaître quelques corrélations qui ouvrent les portes à une analyse automatisée et informatique du réseau hydrographique.

Les travaux de ces différents auteurs montrent que le tracé du réseau hydrographique résulte d'interactions complexes. Si l'eau par nature est incompressible et s'écoule par le chemin le plus énergétique le plus court du point haut (sommet, crête,..) au point bas (mer, lac, fleuve...), durant son parcours les conditions de son cheminement influent sur son tracé. Parmi ces facteurs, les causes d'origines uniquement géologiques sont nombreuses :

La lithologie : elle intervient par sa nature physique : épaisseur, perméabilité, etc., et sa nature chimique : sensibilité à la dissolution, phénomènes de cristallisation, etc.

La structure : les alternances géologiques, les discordances, les déformations affectent la lithosphère, modifient la topographie et façonnent le réseau hydrographique.

La pente régionale : définie par un sens, une direction puis une inclinaison, elle constitue un élément déterminant dans l'orientation et l'organisation des cours d'eau.

D'autres facteurs interviennent, résultant d'une combinaison de contraintes de nature diverse ; leur importance diffère selon l'échelle à laquelle on observe le réseau hydrographique (on ne mentionnera pour mémoire que le rajeunissement et l'eustatisme).

Ainsi, au-delà de sa morphologie, le réseau hydrologique par sa morphogenèse suppose la recherche d'éventuelles corrélations entre la forme du réseau hydrographique et la nature du sous-sol. Celle-ci a suscité un grand nombre de travaux et l'hypothèse principale qui les sous-tend suppose que les réseaux hydrographiques conservent, dans leurs formes, la signature de phénomènes endogènes ou exogènes.

- **Définition de l'IDPR**

Les travaux cités précédemment montrent qu'au-delà de l'objet géographique, le réseau hydrographique peut être appréhendé comme un objet morpho structural dont la genèse montre des corrélations entre causes et formes.

L'IDPR s'intéresse à ces corrélations et met en exergue celles qui sont supposées d'ordre géologique. Arbitrairement, cette approche minimalise les autres facteurs et cela même si le climat (paléoclimat), la végétation, l'action de l'homme ont un rôle important dans l'évolution du tracé des cours d'eau. Ainsi dans l'hypothèse d'un milieu parfaitement homogène, de perméabilité nulle, seule la pente et la morphologie des reliefs guident la mise en place des cours d'eau.

La recherche des talwegs ou lignes de plus grande pente qui, par la gravité, rassemblent les eaux de ruissellement, doit donc conduire à la reproduction du réseau hydrographique. Dans la réalité, ce réseau hydrographique théorique diffère du réseau naturel et cette différence traduit la complexité du milieu naturel. L'idée qui sous-tend l'IDPR découle donc du postulat suivant,

Si l'organisation du réseau de drainage, des talwegs, dépend du modelé des terrains naturels; si l'organisation du réseau hydrographique dépend du contexte géologique qui le supporte : alors l'écart entre le réseau des talwegs et le réseau hydrographique traduit l'influence du milieu souterrain. Ainsi, un bassin formé de matériaux très perméables aura en général un réseau hydrographique de densité faible comparativement à la densité des talwegs calculés.

A l'inverse, des bassins formés de roches imperméables mais meubles et érodables, des marnes par exemple, présenteront souvent un réseau hydrographique de densité plus élevée.

L'IDPR devient ainsi un moyen de quantifier indirectement la fonction de transfert des eaux météoritiques depuis la surface vers le sous-sol. Il compare un réseau théorique établi selon l'hypothèse d'un milieu parfaitement homogène (indice de développement ID), au réseau naturel mis en place sous le contrôle d'un contexte géologique hétérogène (de persistance des réseaux PR).

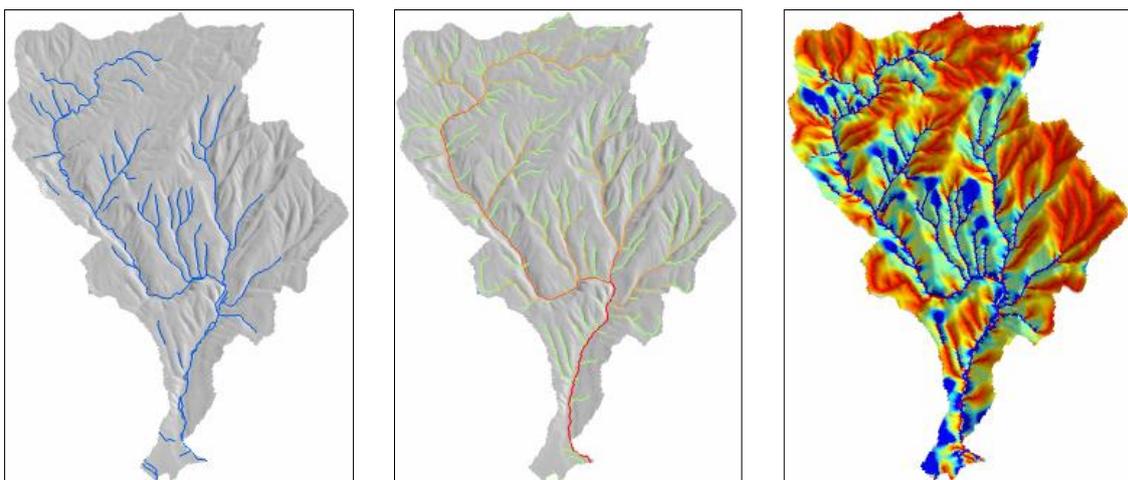


illustration 24 : Couches d'informations nécessaires au calcul de l'IDPR

Il présente une métrologie de l'écart constaté entre les deux réseaux et rend compte du rôle du milieu souterrain dans l'établissement du réseau hydrologique et va alors être exploité pour

approcher de manière indirecte, la capacité intrinsèque des terrains à laisser infiltrer ou ruisseler les eaux de surface.

- **Les couches d'informations nécessaires aux calculs de l'IDPR (*illustration 24*)**

- Le réseau naturel

Le réseau hydrologique naturel, utilisé dans la démarche de calcul de l'IDPR provient des données de la BD CARTHAGE IGN©. Les attributs exploités pour l'analyse sont l'état et la nature des cours d'eau.

- Le réseau théorique

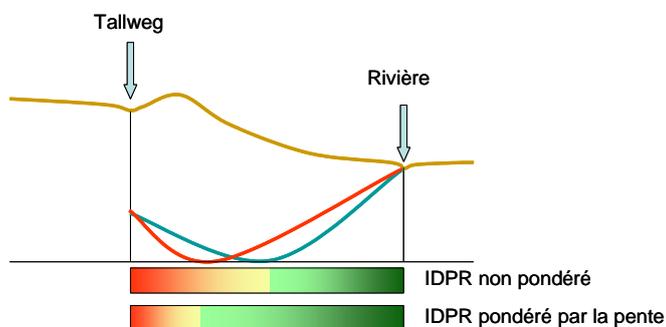
Le réseau théorique des écoulements est fondé sur l'analyse des talwegs. Il s'établit à partir du modèle numérique de terrain (MNT)

- Les pentes

Les données de base essentielles au calcul de l'IDPR sont : le tracé du réseau hydrographique de surface et le modèle numérique de terrain. Il est évident que la qualité du calcul est étroitement dépendante de la qualité et de la précision de ces données.

Le calcul de l'indice résulte du rapport, pour tout point de l'espace étudié, entre :

- La distance au plus proche cours d'eau réel,
- La distance au plus proche cours d'eau calculé.



En pondérant le calcul de l'IDPR par les pentes, cela nous permet de mieux prendre en compte le réseau hydrographique dans les zones planes notamment les zones alluviales.

- **Les résultats de l'IDPR**

L'IDPR résulte du rapport entre la distance au plus proche cours d'eau réel et la distance au plus proche talweg calculé, il varie selon une échelle comprise entre 0 et n, et est arbitrairement ramené à une gamme de 0 à 2000 (*illustration 26*).

IDPR < 1000 : Infiltration majoritaire par rapport au ruissellement superficiel. L'eau ruisselant sur les terrains naturels rejoint un axe de drainage défini par l'analyse des talwegs sans que celui-ci ne se concrétise par l'apparition d'un axe hydrologique naturel.

IDPR = 1000 : Infiltration et ruissellement superficiel de même importance. Il y a conformité entre la disponibilité des axes de drainage liés au talweg et les écoulements en place.

IDPR > 1000 : Ruissellement superficiel majoritaire par rapport à l'infiltration vers le milieu souterrain. L'eau ruisselant sur les terrains naturels rejoint très rapidement un axe hydrologique naturel sans que la présence de celui-ci soit directement justifiée par un talweg.

Un IDPR voisin ou égal à 2000 traduit une stagnation transitoire ou permanente des eaux, menant à deux interprétations différentes :

- Si la nappe est proche de la surface des terrains naturels, (cours d'eau et zones humides), le terrain est saturé et l'eau ne s'infiltré pas.
- Si la nappe est profonde, le caractère ruisselant peut démontrer une imperméabilité des terrains naturels.

On pose l'hypothèse que des valeurs d'IDPR supérieures à 2000 sont majoritairement assimilables à des milieux humides.

Vérification du lien IDPR-Ruissellement

L'illustration 25 permet de constater qu'il existe bien une relation entre le coefficient de crue A10 et l'IDPR notamment pour les stations de la région Champagne. Les points situés à des valeurs supérieures à 0.20 en A10 sont les bassins versants de la région Bourgogne et de la masse d'eau HG3210.

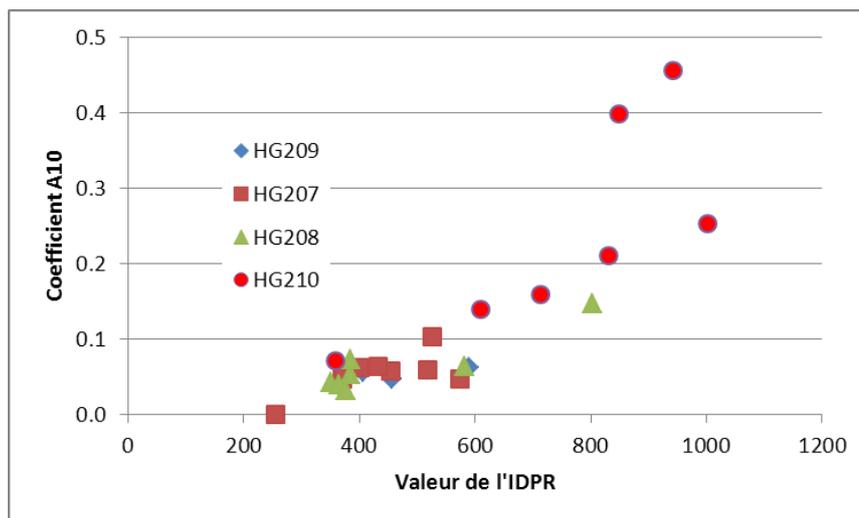


Illustration 25 : Relation Coefficient A10 de ruissellement en crue et IDPR

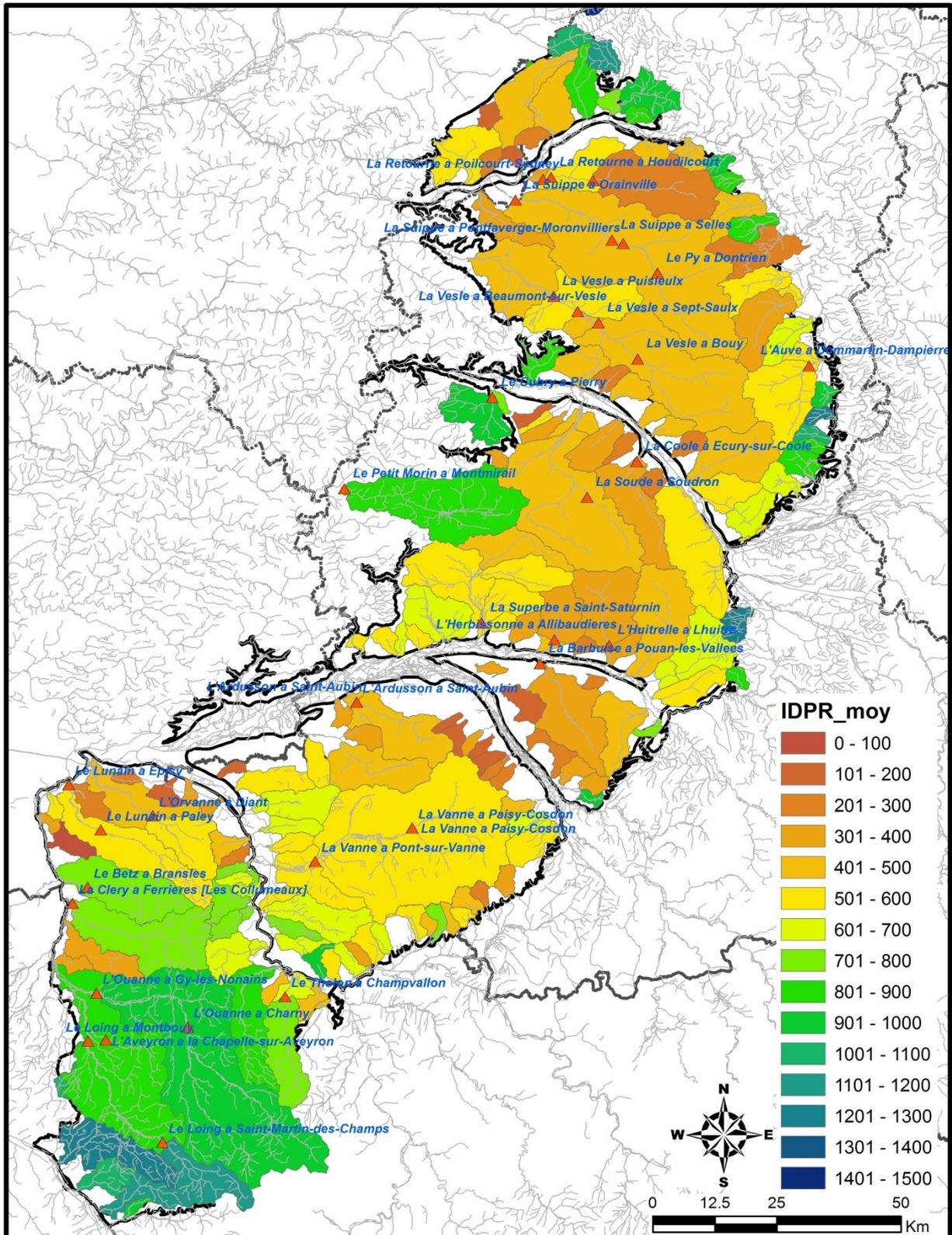


illustration 26 : IDPR des différents bassins versants des régions Champagne-Ardenne et Bourgogne

2.4.3. Rugosité

Le calcul de « l'indice de rugosité » permet de caractériser les différents types de reliefs.

La notion qualitative de rugosité des terrains est difficile à appréhender (un terrain inégal, raide rocheux, rocheux cassé et raide, etc.). Il existe différentes méthodes de calcul de rugosité (*illustration 27*), deux sont courantes (LSRI et TRI), la troisième - VRM - retenue dans le cadre de cette étude a été développée en 2005 selon une approche naturaliste récente.

La méthode LSRI (Land Surface Ruggedness Index) exploite la densité des courbes isohypses dans un secteur donné. Les valeurs d'index sont basses dans les secteurs plats (a), tandis que les valeurs d'index sont hautes dans les secteurs où les courbes sont rapprochées les unes des autres (fortes pentes homogène b (d'orientations similaires) et hétérogènes c (d'orientations variées)).

La méthode TRI (Terrain Ruggedness Index) utilise la somme des variations d'altitude dans un secteur donné comme index de la rugosité de terrain. De la même manière que précédemment, les valeurs d'index sont basses dans des secteurs plats (a) mais plus importantes dans les deux secteurs de fortes pentes homogène b (d'orientations similaires) et hétérogènes c (d'orientations variées).

Ces deux méthodes LSRI et TRI ont donc pour inconvénient d'être fortement corrélées avec la pente. De sorte qu'ils ne peuvent clairement distinguer des terrains de pente forte mais homogène (glacis) de terrains de pente forte et de direction hétérogène.

Une mesure idéale de rugosité devait incorporer la variabilité à la fois dans l'aspect et la direction de la pente. C'est la solution proposée par la troisième méthode VRM (Vector Ruggedness Measure) qui emploie la dispersion dans les trois dimensions des vecteurs orthogonaux aux facettes du Modèle Numérique du Terrain (MNT).

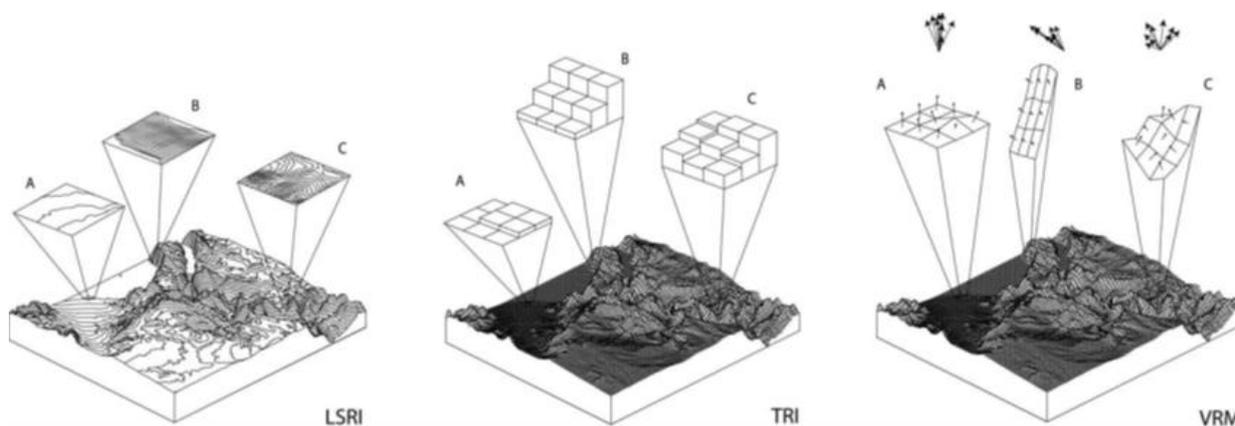


illustration 27 : Méthodes courantes de calcul de la rugosité, LSRI, TRI et VRM

La mesure de rugosité par les vecteurs (VRM) mesure donc la rugosité des terrains en mesurant la dispersion des vecteurs orthogonaux sur la surface de terrain.

Les valeurs de VRM sont basses dans les secteurs plats (a) et dans les zones à la fois de pentes élevées mais de directions homogènes. Elles sont élevées dans les secteurs qui sont raides et « rugueux » à fortes pentes et d'orientations variées.

L'application du calcul de la rugosité (Méthode VRM) à la zone d'étude fournit les résultats figurant sur l'illustration 28.

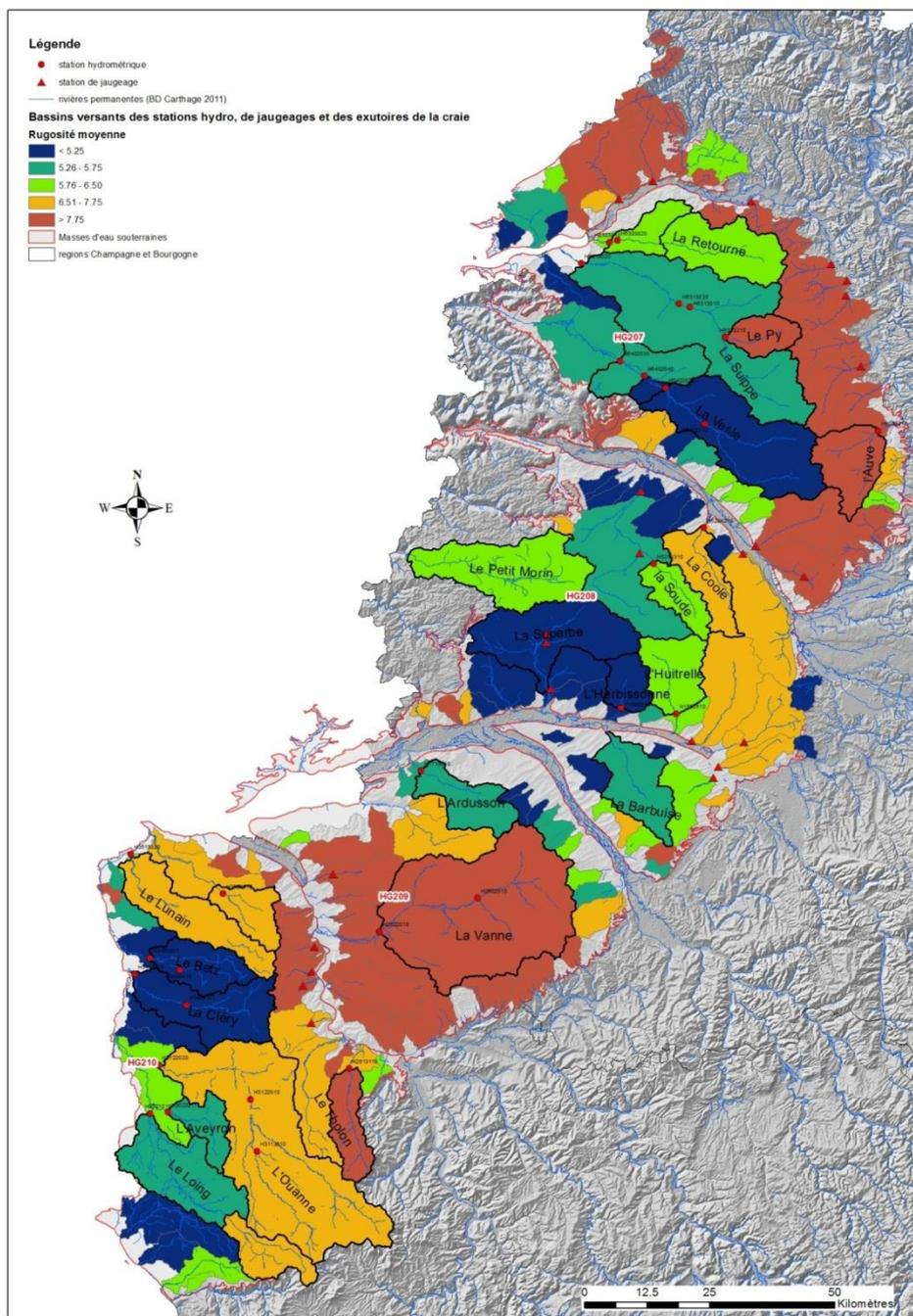


illustration 28 : Cartographie de la rugosité moyenne des différents bassins versants de la craie des régions Champagne-Ardenne et Bourgogne.

Connaissance des ressources réellement disponibles sur l'ensemble des bassins versants crayeux
Bassin Seine-Normandie en Champagne-Ardenne

3. Modélisations des bassins versants jaugés

3.1. DESCRIPTION DU LOGICIEL DE MODELISATION

La compréhension d'un hydro-système peut être facilitée par **la mise en place d'un modèle** représentant de manière schématisée la réalité.

Le logiciel de modélisation GARDENIA, développé par le BRGM, est utilisé dans le domaine de l'hydro(géo)logie (hydrologie et hydrogéologie) pour modéliser et éventuellement prévoir des **niveaux de nappes ou des débits à l'exutoire d'un bassin versant**. Il permet de modéliser le fonctionnement d'un hydro système, tel que celui schématisé sur l'illustration 29.

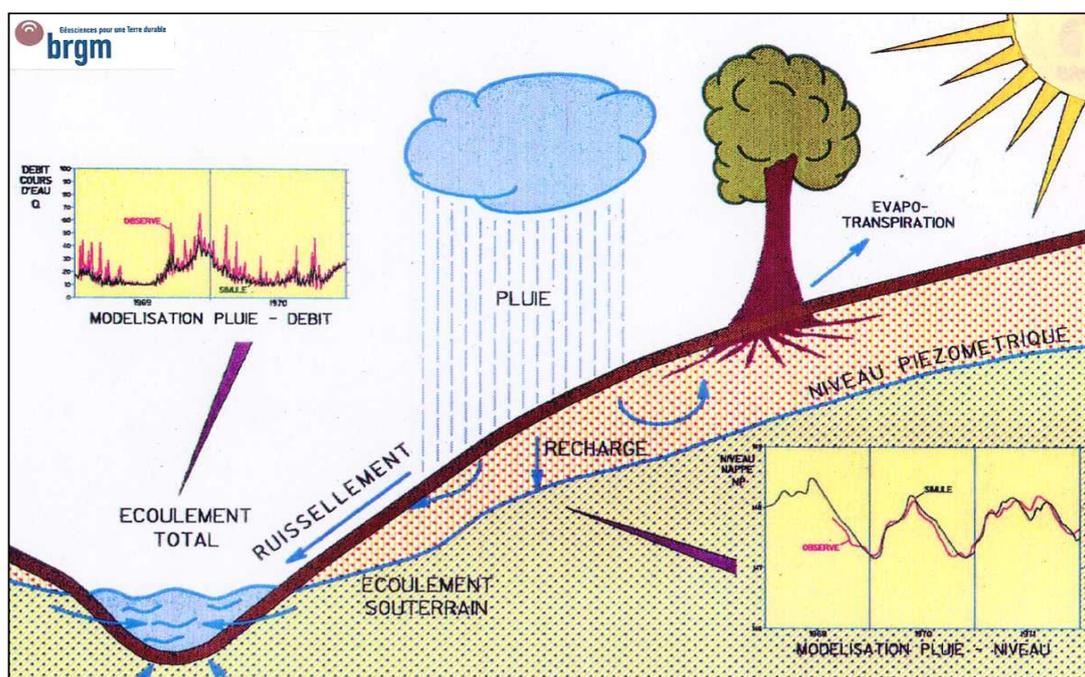


illustration 29 : Représentation schématisée des éléments du bilan hydrologique d'un bassin versant

Il permet de simuler le cycle de l'eau, depuis les précipitations sur le bassin versant jusqu'au débit à l'exutoire d'une rivière (ou d'une source) ou au niveau ponctuel d'un aquifère (niveau piézométrique).

Ce modèle est global, car il considère des « données d'entrée » globales, pluie et évapotranspiration potentielle, et en sortie, débit à l'exutoire et/ou niveau piézométrique en un point de la nappe sous-jacente.

Le logiciel GARDENIA simule le cycle de l'eau par plusieurs réservoirs en cascade.

Fonctionnement du modèle

Plusieurs schémas hydrauliques peuvent être utilisés :

- le schéma type GARDENIA au sens strict avec son module de production propre. Plusieurs configurations sont possibles avec notamment 1 ou 2 réservoirs souterrains. Dans la configuration à 1 réservoir souterrain, les 3 réservoirs représentent schématiquement (illustration 30):
 - la zone superficielle du sol sujette à la reprise par évaporation ;
 - la zone non saturée siège des écoulements rapides (ruissellement et composante rapide des écoulements karstiques) ;
 - la zone saturée siège des écoulements lents de l'aquifère ;
- le schéma mixte type GARDENIA avec le module de production type GR4 ;
- le schéma type GR4 développé par Edijatno et Michel (1989).

Les échanges entre les réservoirs sont définis par des fonctions de transfert faisant intervenir une dizaine de paramètres globaux (réserve utile, temps de tarissement, etc.) définis pour un bassin versant ou une entité homogène au sein d'un bassin versant.

Pour initialiser l'état de remplissage des réservoirs, il est nécessaire, en modélisation hydrologique globale, de prendre en compte une période d'initialisation. Celle-ci doit être d'autant plus longue que l'inertie ou « mémoire » de l'aquifère est grande. Cela suppose de disposer de chroniques de pluie et d'ETP sur une période aussi longue que possible antérieurement à la période de calage.

Le calage du modèle consiste à ajuster au mieux les données d'entrée (pluie, ETP) et les données de sortie (débit et/ ou niveau piézométrique) avec un jeu de paramètres aussi réaliste que possible, calé sur l'exploitation de l'ensemble des données disponibles. Ce calage s'effectue par une méthode semi-automatique. L'utilisateur fournit un jeu de paramètres initiaux, donne des bornes de variations plausibles pour chacun d'eux et indique ceux qui doivent être optimisés. L'optimisation concomitante des différents paramètres est effectuée selon un algorithme non-linéaire adapté de la méthode de Rosenbrock. Le logiciel teste des valeurs de ces paramètres jusqu'à trouver un jeu fournissant la meilleure adéquation entre séries calculées et observées (coefficient d'ajustement R). Ce calage s'effectue sous le contrôle de l'utilisateur qui peut le contraindre, notamment par la fixation des valeurs de certains paramètres ou de bornes plausibles.

Le coefficient R est égal à la racine de Nash.

Le coefficient de Nash (NTD) est défini par :

$$NTD = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (q_{ci} - q_{oi})^2}{\sum_{i=1}^n (q_{oi} - \bar{q}_o)^2}$$

où q_{ci} et q_{oi} sont les débits calculé (modélisé) et observé du jour i ;

\bar{q}_o est la moyenne de q_{oi} sur les n jours servant au calcul du coefficient.

Une fois calé, le modèle peut être utilisé pour :

- Calculer les différents termes du bilan hydrologique en permettant notamment, dans une certaine mesure, de différencier les deux composantes de l'écoulement :
 - celle rapide que l'on peut assimiler au ruissellement superficiel et à la composante rapide des écoulements karstiques ;
 - celle lente que l'on peut assimiler à la composante lente des écoulements souterrains, c'est-à-dire à la contribution des aquifères au débit des rivières.
- Simuler des débits et/ou des niveaux résultant d'épisodes climatiques exceptionnels. Ces simulations permettent le dimensionnement d'ouvrages tels que retenues pour l'irrigation, aménagements de sources, fondations de bâtiments, niveaux de sous-sol, dimensionnement d'ouvrages hydrauliques pour l'évacuation des crues ou pour la régulation des débits (barrages), etc. ;
- Faire une extension de débits ou de niveaux piézométriques sur une longue période pendant laquelle on ne possède pas de mesures, à partir, par exemple, de différents scénarii climatiques ;
- Émettre une prévision de débits et/ou de niveaux piézométriques. Il est possible de prolonger une série observée jusqu'à une certaine date à partir de scénarios de précipitations prévisionnels pour les semaines ou mois futurs (sècheresses, périodes de hautes eaux) ;
- Reconstituer des valeurs manquantes dans une chronique de débits (rivière ou source), et/ou de niveau piézométrique (nappe). Les séries ainsi complétées peuvent être utilisées dans d'autres calculs ou modélisations.

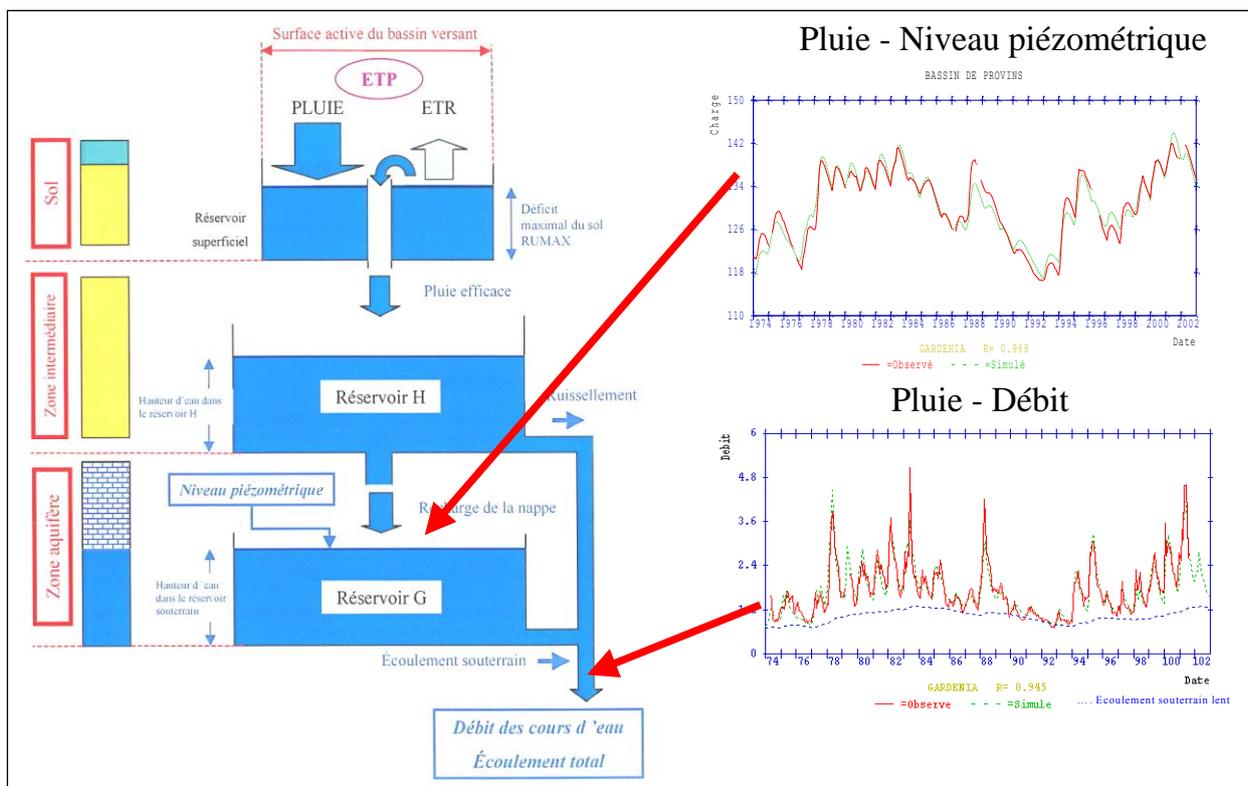


illustration 30 : Principe du modèle hydrologique GARDENIA pour la simulation du débit d'un cours d'eau ou d'un niveau piézométrique (Schéma classique).

3.2. COLLECTE, CONTROLE ET MISE EN FORME DES DONNEES

3.2.1. Pas de temps

Vu l'objectif de l'étude et le nombre de bassins et d'années à traiter, le pas de temps choisi a été le pas de temps décadaire. En effet dans le contexte de la craie, les débits moyens journaliers et les débits moyens décadaires sont quasiment identiques, seuls les bassins versants ayant une partie « hors craie » permettent de constater des différences (illustration 31). Ils correspondent d'ailleurs aux bassins versants ayant les coefficients de crue (A10) les plus élevés (§ 2.3.2)

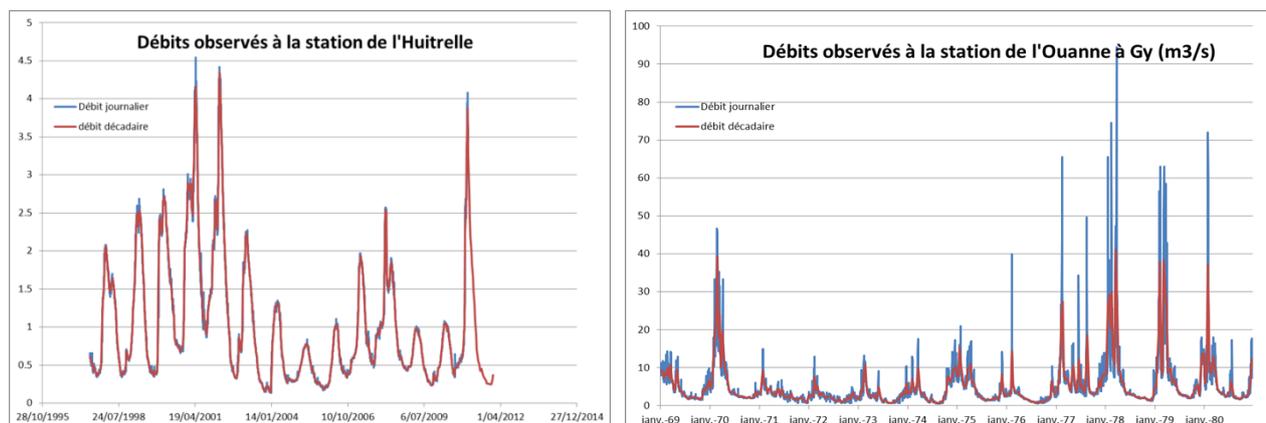


illustration 31 : Comparaison des débits journaliers et décadaires au droit de deux stations hydrométriques

3.2.2. Données d'entrée

La phase de collecte et contrôle des données est essentielle pour assurer la validité des résultats des modélisations quelles qu'elles soient.

Cette phase comprend l'analyse du système hydrologique étudié, afin d'identifier ses conditions aux limites (prélèvement pour l'alimentation en eau potable, apports et/ou sorties souterraines, etc.). Elle est réalisée d'après l'analyse des cartes géologiques et hydrogéologiques et la consultation des études régionales ou locales réalisées sur le secteur.

Dans cette étude, on a cherché à recueillir les données sur la période la plus longue possible, afin d'intégrer le plus possible les fluctuations climatiques interannuelles et pouvoir disposer d'une période d'initialisation de longueur suffisante.

Une analyse critique des données de base a été effectuée de façon à identifier les lacunes d'observations et les erreurs grossières ou systématiques de données.

Les données de base ont été acquises auprès des organismes suivants :

- Climathèque Météo-France pour les données climatiques ;
- DREAL Champagne-Ardenne, pour les données de débits ;
- ADES, la banque nationale d'Accès aux Données sur les Eaux Souterraines du BRGM, pour les données piézométriques.

Les différentes stations utilisées sont localisées sur l'illustration 1.

3.2.3. Données climatologiques

Les calages ont été réalisés à partir des stations pluviométriques et climatologiques disponibles dans le, ou les plus proches du, bassin versant à modéliser.

Ces stations ont toutefois été choisies en fonction de leurs éloignements, de leurs altitudes (la plus proche possible de l'altitude moyenne du bassin versant) tout en favorisant les stations permettant de fournir une chronique complète des données pluviométriques et d'évapotranspiration potentielle de Penman-Monteith sur l'ensemble de la période de simulation souhaitée. En effet le complètement de données manquantes sur une période peut induire des biais (séries non homogènes) fortement préjudiciable aux calages des modélisations. Lorsqu'il n'a pas été possible d'obtenir des séries complètes (principalement au niveau des données d'évapotranspiration potentielle) les séries ont été complétées soit en effectuant une correction d'échantillonnage (utilisation de la méthode des doubles cumuls) soit en prolongeant la série par les valeurs décennales moyennes interannuelles et en n'utilisant cette période que pour l'initialisation du modèle, le calage proprement dit étant réalisé sur la période de chroniques complètes.

• Facteur correctif sur les pluies

Pour les bassins versants d'altitude, un facteur correctif constant sur l'ensemble de la période de modélisation a été appliqué sur la pluviométrie décennale lorsque la pluviométrie annuelle moyenne du poste le plus proche était foncièrement différente de la pluviométrie moyenne du bassin versant obtenue à partir de la carte des isohyètes interannuelles établie par Météo France et calculées selon la méthode AURELHY (Analyse Utilisant le RELief pour l'HYdrométéorologie, Bénichon et Le Breton, 1986). La pluviométrie étant un index, afin de permettre un meilleur calage, ce paramètre d'ajustement a été laissé libre de fluctuer entre $\pm 5\%$ autour de cette valeur moyenne, ce coefficient est indiqué en dernière colonne de l'illustration 32.

Connaissance des ressources réellement disponibles sur l'ensemble des bassins versants crayeux
Bassin Seine-Normandie en Champagne-Ardenne

station hydrométrique	Bassin versant				Pluviométrie (mm)			
	périmètre (m)	alti_min (m NGF)	alti_max (m NGF)	alti_moy (m NGF)	Pluie moy Aurelhy 1971-2000	Station	Pluie à la station	ratio Aurelhy /station
L'Huitrelle à l'Huître	61	98	225	151	764	Sommesous	786	0.97
L'Herbissonne * à Allibaudières	42	90	177	130	745	Dosnon	786	0.95
La Barbuise * à Pouan-les- Vallées	80	88	217	144	714	Grandes_ Chapelles	685	1.04
La Superbe à Saint-Saturnin	108	80	227	127	761	Esternay	748	1.02
L'Ardusson à Saint-Aubin	74	71	205	128	708	Saint-Aubin	730	0.97
La Vanne à Paisy-Cosdon	101	120	295	197	760	Saint_Mards -en-Othe	828	0.92
La Coole à Ecury-sur- Coole	79	86	225	144	693	Sommesous	786	0.88
La Soude * à Soudron	60	111	225	160	741	Sommesous	786	0.94
Le Petit Morin à Montmirail	110	120	250	175	798	Bannes	704	1.13
L'Auve à Dommartin- Dampierre	66	140	230	180	853	Valmy	804	1.06
La Retourne à Poilcourt- Sydney	109	62	147	101	723	Juniville	713	1.01
La Retourne à Houdilcourt	106	64	184	120	735	Juniville	713	1.03
La Retourne à Saint-Rémy	83	75	184	126	737	-		
La Suipe à Orainville	177	60	258	130	720	Reims	618	1.17
La Suipe à Selles	122	150	205	183	812	Reims	618	1.31
Le Py à Dontrien	41	105	210	153	785	Reims	618	1.27
La Vesle à Bouy	88	104	211	154	756	Valmy	786	0.96
La Vesle à Sept-Saulx	125	93	285	143	733	-		
La Vesle à Puisieux	165	83	285	128	685	Valmy	804	0.85
La Vesle à Beaumont-	133	89	286	142	730	Valmy	804	0.91

illustration 32 : Caractéristiques morphométriques et pluviométrie des bassins versants suivis.

• Facteur correctif sur l'ETP

Contrairement à la pluviométrie, les données collectées d'ETP sont des données ponctuelles peu nombreuses (4 stations) qui ne permettent pas de définir une relation simple de variation avec l'altitude moyenne du bassin versant. Les valeurs semblent diminuer suivant l'altitude mais également suivant la latitude et l'exposition (illustration 33). La variation de la moyenne interannuelle (1981-2010) est toutefois limitée à quelques pourcents, le minimum se situant à Reims (738 mm) et le maximum à Auxerre (779 mm).

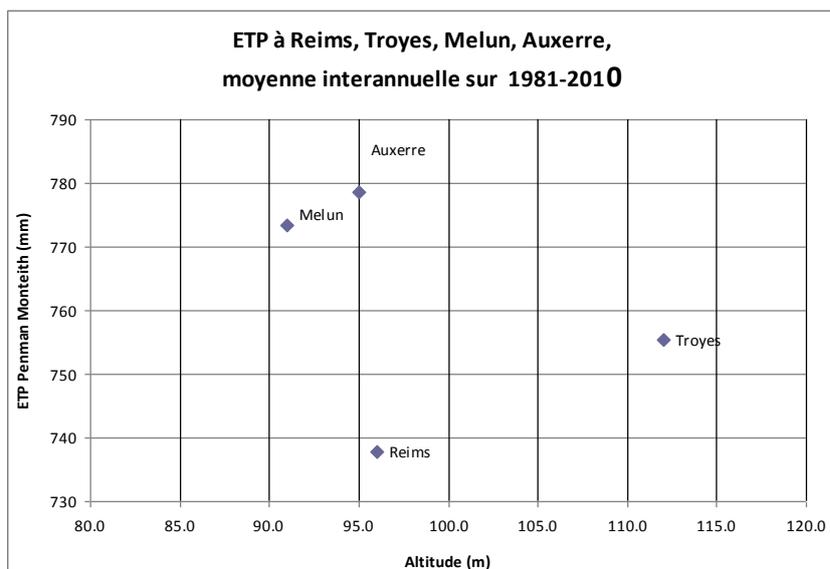


illustration 33 : Valeurs moyennes interannuelles de l'ETP Penman Monteith au droit des stations collectées.

Aussi afin de permettre un meilleur calage, pour chaque modélisation, le paramètre d'ajustement sur l'ETP a été laissé libre de fluctuer entre $\pm 10\%$ autour de la valeur d'ETP de la station la plus proche.

Nota Bene : S'il on ne s'intéresse pas expressément aux différents termes du bilan, il est à noter qu'il est possible, de modéliser correctement les écoulements d'un bassin versant avec une pluie et/ou une ETP ayant une valeur annuelle inférieure ou supérieure à celle réellement perçue par le bassin versant du moment que la répartition annuelle est proportionnellement correcte, le paramètre RUMAX (RFU) s'adaptant pour équilibrer le bilan à celui observé.

3.2.4. Données hydrométriques

Il existe sur la zone d'étude de nombreuses stations hydrométriques en activité gérées par la DREAL Champagne-Ardenne. La sélection des stations hydrométriques a été faite à l'aide des informations fournies par la DREAL (qualité de la courbe de tarage, qualité des jaugeages en étiage, nombre de mesures, station influencée ou non, etc.).

3.2.5. Données piézométriques

Les piézomètres ont été choisis selon le contexte hydrogéologique, l'allure de la chronique mesurée, le nombre de mesures, leur fiabilité. L'ouvrage choisi doit être le plus « représentatif » du comportement de l'hydro-système, qu'il soit situé dans ou au voisinage du bassin versant.

3.2.6. Prélèvements

Les prélèvements en eau de surface et en eau souterraine nous ont été fournis de 1994 à 2010, avec comme coordonnées le centroïde de la commune. Pour les besoins de la modélisation, les prélèvements de l'année 2010 ont été reconduits en 2011. Les différents calages ont été réalisés, sauf exception, en considérant que les prélèvements s'effectuaient à proximité du cours d'eau et qu'ainsi le décalage temporel était faible par rapport au pas de temps (cf.2.1, illustration 4).

Les prélèvements fournis, tous usages confondus, ont été considérés, lors des calages, comme consommés à 100%, hormis pour les prises d'eau de la ville de Paris pour lesquels les débits de trop pleins ont été fournis. L'exploitation des modèles à des fins d'évaluation des volumes disponibles a réintégré ces volumes prélevés (tous usages confondus) en volume disponible sans décalage dans le temps.

La répartition des volumes annuels prélevés pour l'agriculture a été fixée comme constante interannuelle et se décompose comme suit :

- **Mai : 10%** ,
- **Juin : 30 %**
- **Juillet : 40 %**
- **Août : 15 %**
- **Septembre : 5 %**

Nota Bene : par suite :

- **du contexte spécifique à la craie (prélèvements proche du cours d'eau),**
 - **de l'absence de données sur les prélèvements antérieurs à 1994 voire 1997,**
 - **de la méconnaissance des volumes réellement prélevés par pas de temps,**
- il a été considéré qu'il n'était pas possible de re-naturaliser réellement les débits d'étiage par pas de temps. L'option retenue a été de considérer que ces prélèvements :**
- **avaient un effet immédiat sur le débit du cours d'eau, c'est-à-dire comme si le débit prélevé était directement prélevé sur le cours d'eau,**
 - **étaient nuls antérieurement à 1994 voire 1997.**

3.2.7. Récapitulatif des données utilisées

MODELE	PLUIE	ETP	PIEZOMETRE	STATIONS HYDROMETRIQUES	Débits disponibles	BASSIN VERSANT
L'Huitrelle	Sommesous Dosnon	Troyes	02255X0003/S1 Sompuis 02982X0028/F Vailly	L'Huitrelle à Lhuître H1503510	de 06/1997 à 01/2011	160 km ²
L'Herbissonne	sommesous ou Dosnon	Troyes	02982X0028/F Vailly	L'Herbissonne à Allibaudières H1503910	de 08/1970 à 12/2010	87 km ²
La Barbuise	Les Grandes Chapelles	Troyes	02982X0028/F Vailly	La Barbuise à Pouan-les-Vallées	de 08/1970 à 01/2011	187 km ²
La Superbe	Esternay Sommesous Dosnon	Troyes Reims	02233X0015 Linthelles 02982X0028/F Vailly	La Superbe à Saint- Saturnin	de 08/1970 à 06/2011	320 km ²

MODELE	PLUIE	ETP	PIEZOMETRE	STATIONS HYDROMETRIQUES	Débits disponibles	BASSIN VERSANT
L'Ardusson	Saint-Aubin	Troyes	02617X0009/S1 Orvilliers 02615X0020 St Hilaire	L'Ardusson à Saint-Aubin	de 08/1970 à 05/2010	159 km ²
La Coole	Sommesous	Reims Troyes	01884X0062 Cheniers 01891X0047 Chalon	La Coole à Écury-sur-Coole	07/1996 à 06/2011	150 km ²
La Soude	Sommesous	Reims	01887X0093 Bussy 02255X0003 Sompuis	La Soude à Soudron	de 11/1968 à 06/2011	105 km ²
L'Auve	Chouilly	Reims	pas de piézo	L'Auve à Dommartin- Dampierre	de 01/1994 à 12/2010	173 km ²
La Retourne	Juniville	Reims de 01/1980 à 01/2012	Alincourt 01095X0001/FAEP Semide 01097X0014/S1	La Retourne à Poilcourt-Sydney	de 03/1970 à 12/1988	322 km ²
				La Retourne à Houdilcourt	de 02/1991 à 11/1999	318 km ²
				La Retourne à Saint- Remy-le-Petit	de 05/2044 à 10/2010	237 km ²
La Suipe	Reims	Reims	Fresnes les Reims 01086X0011 St Etienne sur Suipe 01086X0013/S1	La Suipe à Pontfaverger- Moronvilliers	de 02/1968 à 12/2010	475 km ²
				La Suipe à Orainville	de 02/1968 à 12/2010	802 km ²
				La Suipe à Selles	de 09/1989 à 12/2010	486 km ²
Le Py à Dontrien	Reims	Reims	Mourmelon 01335X0020/PZ6	Le Py à Dontrien		89 km ²
La Vesle	Mourmelon	Reims	Grandes Loges 01584X0023/LV3 Bussy le Château 01593X0014	La Vesle à Bouy	de 01/1968 à 10/2010	286 km ²
				La Vesle à Puisieux	de 10/1983 à 10/2010	603 km ²
				La Vesle à Beaumont	de 12/1985 à 09/2002	446 km ²

illustration 34 : Stations utilisées pour les modélisations des bassins versants suivis.

3.3. CALAGES DES MODELES

C'est la phase de calage, sur les observations, qui permet d'obtenir la fonction de transfert, entre la pluie, le niveau piézométrique et le débit. Cette phase de calage du modèle est réalisée automatiquement par le logiciel Gardenia sous contrôle de l'utilisateur.

La modélisation, avec Gardenia des relations pluie/débit, pluie/niveau ou pluie/niveau/débit fait intervenir une dizaine de paramètres globaux (réserve utile, temps de tarissement, etc.) définis pour un bassin versant. Ces paramètres doivent être ajustés sur une période d'observation commune des pluies et des débits (ou/et des niveaux). Les paramètres de calage sont optimisés afin de simuler au mieux les débits d'étiage et/ou les niveaux piézométriques sur la période commune de suivi et obtenir un coefficient d'ajustement maximal, ceci sans volonté d'explicitement les paramètres.

Chaque bassin versant a donné lieu à plusieurs essais de calage réalisés avec des piézomètres et des postes pluviométriques différents. Les résultats graphiques du calage retenu pour chacun des bassins versants modélisés sont fournis en annexe. Les coefficients d'ajustement (R) figurent sur les graphiques en annexe. Ils varient entre 0.836 (piézométrie de la Retourne) à 0.962 (débit de l'Auve). Les débits sont de manière générale mieux simulés que les niveaux piézométriques et les coefficients d'ajustement sont globalement meilleurs pour la masse d'eau HG3208 que pour la HG3207.

Afin de tenir compte des débits prélevés, le calage a été réalisé sur la période d'observation de ces débits (1994-2011) lorsque les débits aux stations hydrométriques et les niveaux piézométriques étaient disponibles. Pour les rares cas où ces données n'étaient pas disponibles, il s'est avéré que les débits prélevés, au droit de ces bassins, étaient généralement faibles (quelques l/s) et donc non significatifs, le calage a alors été réalisé sur la période disponible en données hydrométriques et piézométriques.

Il faut noter que pour parvenir à simuler correctement les débits et bilans de certaines stations, il a été nécessaire d'introduire un débit de fuite. Ces stations correspondent aux bassins versants pour lesquels les courbes isopièzes de la campagne 2011 (cf. illustration 23 ; § 2.4.1) indiquent des échanges avec les bassins versants voisins ou à des bassins versants dont les débits s'annulent, c'est-à-dire où il se produit probablement des sous écoulements au droit de la station. Ces débits de fuite (constant par construction) ont été évalué par calage à :

- 80 l/s pour la Coole,
- 160 l/s pour la Soude,
- 220 l/s pour l'Herbissonne,
- 250 l/s pour la Barbuise, la Vesle à Bouy.

Modèle GR4

Des modélisations utilisant le logiciel GR4, ont été réalisées en parallèle. Suivant les bassins versants soit :

- elles n'ont pas permis d'améliorer les résultats. Par exemple : coefficient d'ajustement GR4 de 0.8845 (0.865 sur les débits, 0.904 sur les niveaux) et avec GARDENIA : 0.9003 (0.886 sur les débits, 0.915 sur les niveaux).
- elles n'ont pas donné satisfaction par suite du pas de temps décadaire trop grand pour permettre une décroissance correcte des débits. En effet, le paramètre « temps de

décroissance des hydrogrammes » est exprimé en jour. Il est au minimum égal à un pas de temps, soit ici : pas de temps = 10.14 jours)

Les simulations GR4 n'ont donc pas été exploitées.

Validation des calages

Il s'agit d'une étape importante permettant de vérifier la qualité du calage. Elle consiste à confronter les valeurs simulées à celles observées pour une période non utilisée durant la phase de calage, préalablement réservée pour cette étape.

La période de validation est celle antérieure aux données de prélèvements. Les coefficients d'ajustement obtenus sur ces périodes étant relativement bons, on peut ainsi constater, dans la plupart des cas, le peu d'influence des pompages.

Lorsque le calage est jugé satisfaisant, sa qualité peut être appréciée visuellement (en superposant les séries simulées et observées) mais aussi à l'aide de critères quantitatifs, comme les coefficients de corrélation (Nash, par exemple) ou des paramètres statistiques (écarts-type, moyennes durant l'étiage, moyenne des erreurs absolues, d'écart-type, etc.).

Les graphiques de validation sont joints en annexe.

3.4. EXPLOITATION DES RESULTATS SUR LA PERIODE 1980-2011

3.4.1. Bilan des modélisations

Le tableau (illustration 35) fournit les résultats des modélisations réalisées sur la période 1980-2011.

Les différentes colonnes indiquées dans le tableau sont :

- Cours d'eau, numéro de la station, superficie du bassin versant et numéro de la masse d'eau souterraine associée,
- Puis, sur la période 1980-2011, la valeur moyenne interrannuelle
 - Des précipitations,
 - De l'évapotranspiration réelle,
 - De la pluie efficace,
 - De l'écoulement rapide,
 - De l'écoulement plus lent (assimilé à de l'écoulement souterrain) composé de 2 valeurs,
 - Du pourcentage de l'écoulement lent / écoulement total.

				Pluie	ETR	PI_Eff	Q_rap	Q_sout1	Q_sout2	Q_sout
cours d'eau	numero	Sup. BV	masse d'eau	mm	mm	mm	mm	mm	mm	%
l'Auve	H6033210	173	3207	878	613	266	47	189	31	83
La Retourne	H6303810	322	3207	700	517	184	68	115	2	63
La Retourne	H6303820	318	3207	758	594	167	117	51	0	30
La Suipe	H6313020	802	3207	701	527	175	0	170	5	100
La Suipe	H6313030	486	3207	814	610	206	3	203	2	98
Le Py	H6313210	89	3207	751	536	215	1	15	201	100
La Vesle	H6402010	286	3207	723	489	233	2	228	3	99
La Vesle	H6402030	603	3207	768	622	147	27	118	1	82
L'Huitrelle	H1503510	160	3208	815	610	206	16	142	49	92
L'Herbissonne	H1503910	87	3208	748	531	217	52	162	6	76
La Barbuise	H1513210	187	3208	704	532	172	37	71	64	79
La Superbe	H1603010	320	3208	731	539	193	1	181	12	99
La Coole	H5204210	150	3208	758	565	194	43	147	5	78
la Soude	H5213310	105	3208	766	552	215	82	130	4	62
Le Petit Morin	H5412010	354	3208	757	611	146	9	102	36	94
L'Ardusson	H1713010	159	3209	694	565	130	9	79	43	93
La Vanne	H2602010	347	3209	767	547	220	33	187	1	85

illustration 35 : Bilans des modélisations

3.4.2. Evapotranspiration Réelle

Le bilan réalisé au droit des stations modélisées fait apparaître une augmentation de l'ETR vers le sud et en fonction de l'altitude (Est-Ouest) (illustration 36).

3.4.3. Pluie efficace

Le bilan réalisé au droit des stations modélisées fait apparaître une pluie efficace plus importante sur les bassins versants d'altitude (Auve) ou pour des bassins versants spécifiques tel que la Vanne (illustration 37).

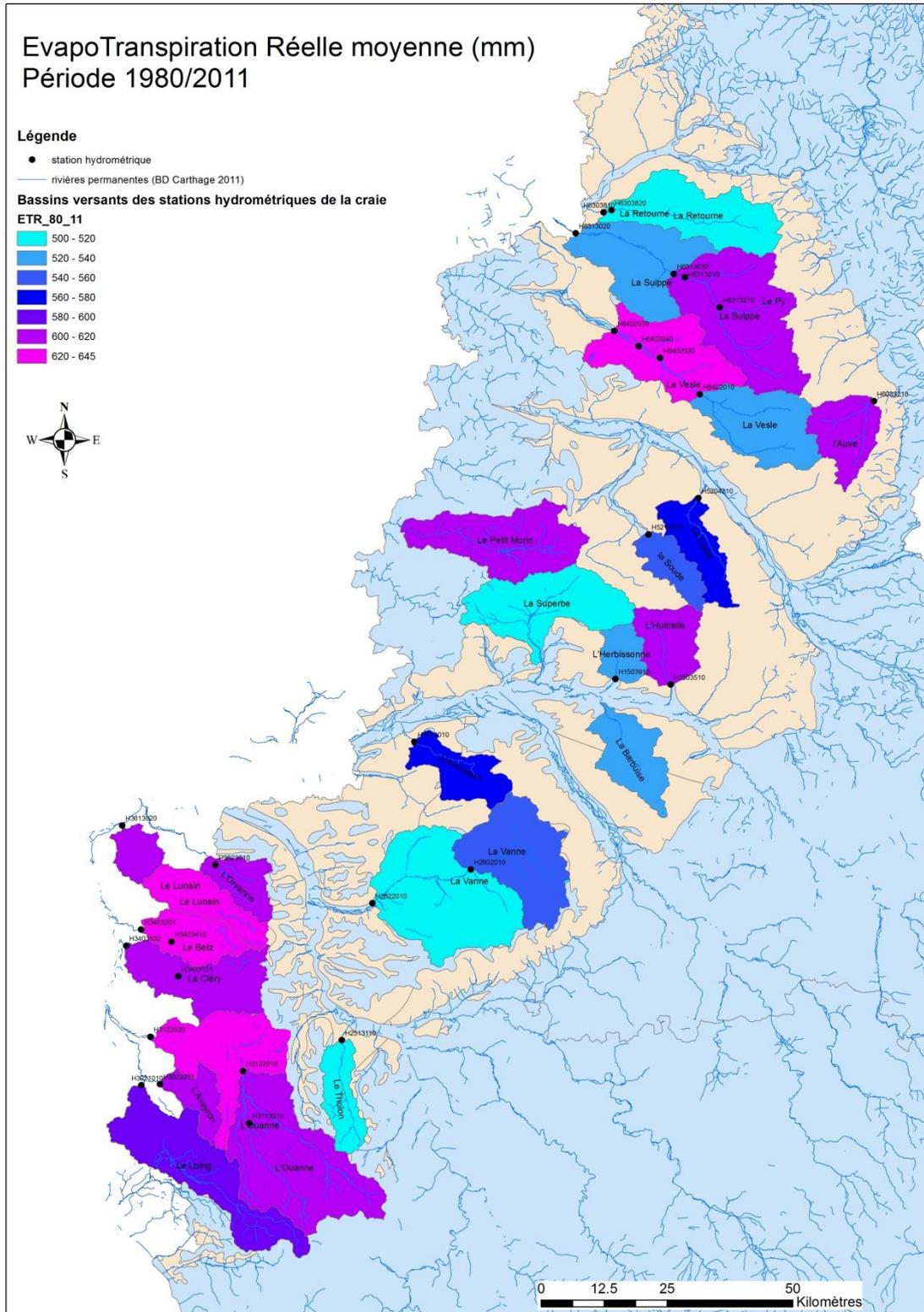


illustration 36 : Cartographie de l'évapotranspiration réelle moyenne calculée par modélisation sur la période 1980-2011.

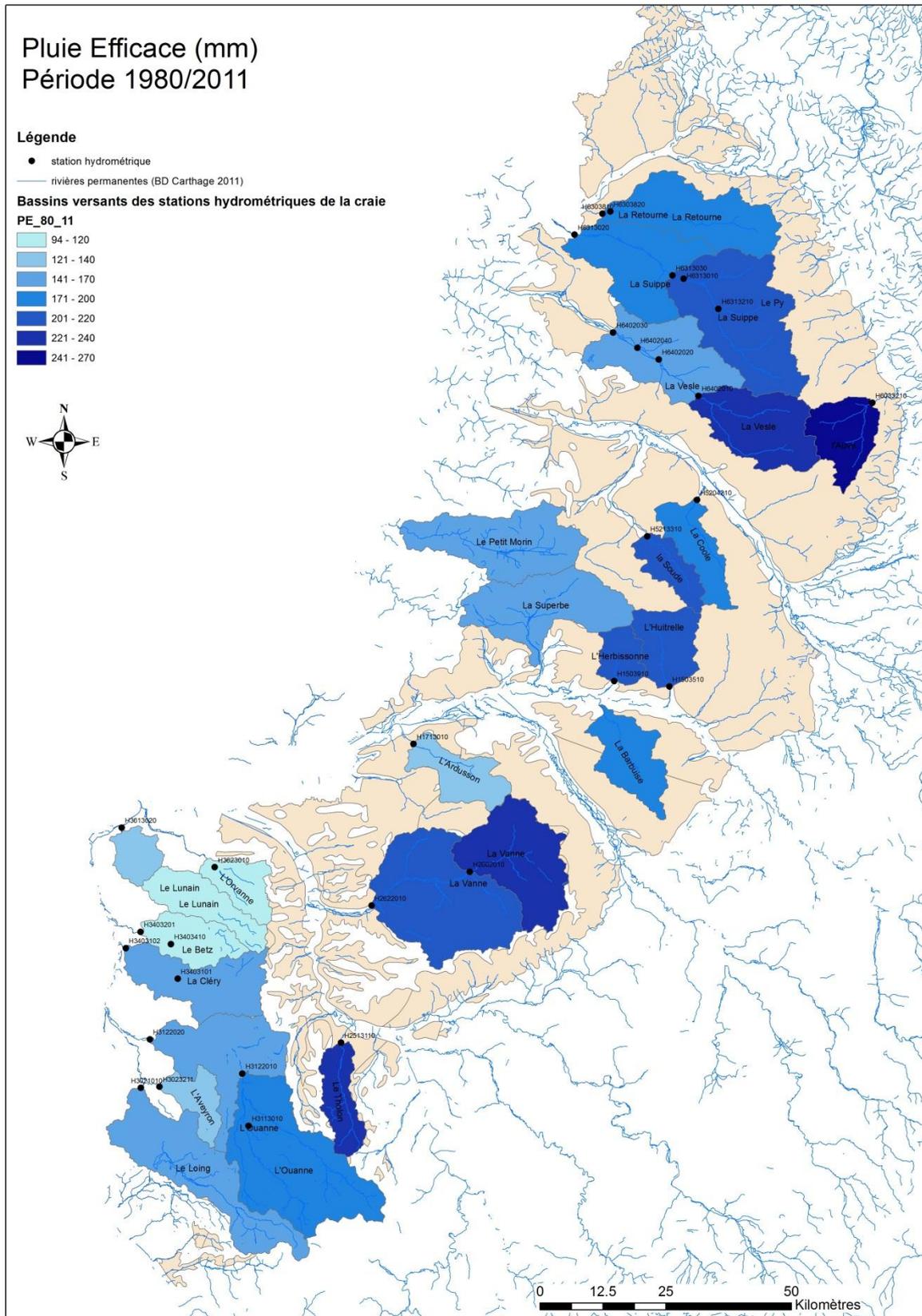


illustration 37 : Cartographie de la pluie efficace calculée par modélisation sur la période 1980-2011.

3.4.5. Recharge des aquifères

Afin de préciser la variabilité de la recharge, des ajustements statistiques suivant une loi de Gauss (normale, log normale et racine Gauss) ont été réalisés pour un bassin versant par masse d'eau. Il est à préciser que, quel que soit la loi de Gauss retenue, les valeurs fréquentielles sont très voisines pour les fréquences non exceptionnelles, néanmoins la loi de Gauss retenue est la loi *racine Gauss* c'est-à-dire que les racines des valeurs suivent une loi de Gauss. La recharge annuelle a été calculée entre les mois d'octobre et septembre.

La recharge annuelle varie sur le bassin versant de :

- la Vesle à Puilsieux de 38 mm (1975-1976) à 278 mm (1987-1988) autour d'une valeur moyenne de 126 mm ;
- l'Herbissonne à Allibaudières, de 58 mm (2004-2005) à 254 mm (2001-2002) autour d'une valeur moyenne de 149 mm ;
- l'Ardusson à Saint Aubin, de 26 mm (2008-2009) à 235 mm (1981-1982) autour d'une valeur moyenne de 122 mm ;

L'illustration 39 fournit une évaluation des valeurs fréquentielles des recharges pour ces différents bassins versants :

Bassin versant	Période d'ajustement	Période de retour (années)				
		10 (sec)	5 (sec)	2	5 (humide)	10 (humide)
Vesle à Puilsieux	10/1968-09/2011	56	76	119	174	206
Herbissonne à Allibaudières	10/1969-09/2011	82	101	143	192	222
Ardusson à Saint Aubin	10/1976-09/2011	42	62	111	168	204

illustration 39 : Valeurs fréquentielles de la recharge annuelle (en mm) au droit de quelques bassins versants

3.5. EXPLOITATION DES DEBITS SIMULES

Les différentes modélisations ont permis de simuler les débits et niveaux piézométriques sur une période minimale de 34 ans et maximale (hors période d'initialisation) de 44 ans.

Ces simulations ont été réalisées en considérant des prélèvements nuls non décalés dans le temps, c'est-à-dire que toute demande autorisée ou tout prélèvement réel doit être soustrait des volumes disponibles.

Ces débits simulés ont été ensuite utilisés pour effectuer des ajustements statistiques suivant une loi racine Gauss (la racine des valeurs suivant une loi de Gauss) afin d'estimer :

- Le QMNA5 des débits moyens mensuels,
- Le volume cumulé de période de retour 5 ans des mois de mai à septembre obtenu avec la partie des débits moyens décennaux supérieure au QMNA5,
- Le volume cumulé de période de retour 5 ans des mois de juin à août obtenu avec la partie des débits moyens décennaux supérieure au QMNA5.

L'illustration 40 présente les résultats obtenus au droit des différentes stations de la région Champagne-Ardenne. Il figure également dans ce tableau :

- La période de débits simulés ayant servis aux ajustements,
- Quand l'information était disponible, les volumes établis lors des études réalisées avec le logiciel TEMPO en (2006) et le volume de prélèvement autorisé dans l'année 2009 (entre parenthèse),
- Les volumes de prélèvements autorisés qui nous ont été communiqués,
- Le pourcentage de mois durant lesquels le débit moyen mensuel a été inférieur ou égal au QMNA5 obtenu avec les débits simulés. Durant ces mois, si l'on considère un débit réservé égal au QMNA5, aucun débit de prélèvement ne serait autorisé.

Ce tableau permet de constater que les QMNA5 banque hydro et les QMNA5 simulés sont très souvent voisins. Des différences notables sont toutefois constatées pour la Superbe, la Suipe (à Selles), la Vesle et la Vanne. Ces différences peuvent principalement s'expliquer par la prise en compte des valeurs prélevées.

3.6. COMPARAISON AVEC LES VALEURS OBTENUES LORS DES ETUDES TEMPO

Comparativement à l'étude TEMPO, les volumes « *prélevables* » paraissent :

- légèrement inférieurs pour 4 bassins versants,
- supérieurs pour 7 bassins versants,
- et inférieurs aux volumes autorisés en 2009 pour, au moins, 2 bassins versant, l'Herbissonne et la Barbuise.

Toutefois, ces valeurs indiquées ne sont pas directement comparables, en effet différentes hypothèses et options de calcul sont suffisamment différentes pour expliquer les résultats, notamment :

Connaissance des ressources réellement disponibles sur l'ensemble des bassins versants crayeux
Bassin Seine-Normandie en Champagne-Ardenne

cours d'eau	numero	période ajustement	QMNA5 BANQUE HYDRO	QMNA5 DEBIT SIMULE	VOLUME Q>QMNA5 Mm3			VOLUME AUTORISE (attribué 2009)	% de mois ou Q=<QMNA5				
					mai à septembre	juin à aout	ETUDE TEMPO		mai	juin	juillet	août	sept.
L'Huitrelle	H1503510	1969-2011	0.230	0.228	3.0	1.6	1.3	1.45 - (1.78)	0%	0%	7%	12%	12%
L'Herbissonne	H1503910	1969-2011	0.000	0.006	1.2	0.7	1.9	0.7 - (2.35)	0%	2%	12%	21%	26%
La Barbuise	H1513210	1972-2011	0.019	0.028	2.6	1.4	2.9	1.9 - (3.1)	0%	3%	5%	10%	18%
La Superbe	H1603010	1969-2011	0.063	0.300	5.8	3.0	3.3	1.65	0%	0%	7%	9%	12%
La Coole	H5204210	1972-2011	0.000	0.015	2.8	1.4			0%	3%	8%	15%	20%
la Soude	H5213310	1968-2011	0.030	0.031	2.0	1.1	0	0.45	0%	0%	5%	7%	9%
Le Petit Morin	H5412010	1968-2011	0.446	0.300	3.7	1.9	2	0.65	0%	0%	0%	7%	9%
l'Auve	H6033210	1968-2011	0.300	0.230	3.9	1.9	1.4	0.75	0%	0%	2%	9%	18%
La Retourne (houdilcourt)	H6303820	1970-2011	0.340	0.400	3.1	1.5			5%	7%	10%	10%	10%
La Retourne (Poilcourt)	H6303810	1970-2011	0.350	0.310	5.6	2.8			0%	2%	2%	5%	10%
La Suipe (Orainville)	H6313020	1970-2011	0.710	0.730	17.7	7.7	8.4	7.3	0%	0%	5%	7%	12%
La Suipe (Selles)	H6313030	1970-2011	0.502	0.700	10.0	5.1	6.9	5.5	0%	0%	2%	5%	7%
Le Py	H6313210	1970-2011	0.190	0.175	1.9	1.0			0%	0%	5%	7%	12%
La Vesle (Bouy)	H6402010	1968-2011	0.058	0.130	7.4	3.8	4.3	0.7	0%	2%	7%	20%	30%
La Vesle (Puisieux)	H6402030	1968-2011	0.233	0.370/0.425	8.3	4.0			0%	0%	2%	9%	16%
L'Ardusson	H1713010	1977-2011	0.007	0.090	1.9	1.0	2.5	1.1 - (1.25)	0%	0%	3%	6%	17%
La Vanne (Paisy)	H2602010	1968-2011	0.771	0.424	5.6				0%	0%	3%	8%	15%

Illustration 40 :QMNA5 (m³/s) et volume quinquennal disponible tous usages (Mm³) entre mai et septembre obtenus par ajustement suivant une loi racine Gauss à partir des débits simulés.

- une période de calage différente, période plus longue et intégrant des années relativement sèches,
- suite à la réalisation de la campagne piézométrique, la prise en compte de débit de transfert interbassins,
- des QMNA5 proposés différents, en effet ceux proposés intègrent les débits prélevés (sans décalage temporel) ce qui a pour conséquence de réduire les volumes prélevables si le QMNA5 obtenu avec les valeurs de pompage est supérieur,
- une répartition des volumes prélevés différente. Dans les études tempo de 2006 et 2009, la répartition étant de 10% en avril, 20% en mai, 20% en juin, 25 % en juillet et en août, les volumes intégraient donc les débits d'avril, débits nettement supérieurs à ceux de septembre,
- une fréquence d'étude retenue de 0.75 en 2009 (une année sur 4) et de 0.8 pour cette présente étude (une année sur 5),
- enfin, les volumes prélevables indiqués incluent les prélèvements EI et AEP, contrairement à l'étude 2006. Il faut donc soustraire les volumes AEP et EI pour comparaison.

L'illustration 41 détaille, pour quelques bassins versants, les différentes valeurs permettant d'expliquer la plupart de ces différences. Il est à noter que, pour certains bassins, plusieurs modélisations ont été réalisées et que si celles-ci fournissent des évaluations différentes, les écarts sont relativement limités (environ 10%). Pour les bassins versants de l'Herbissonne, de la Soude, de l'Ardusson, les différents volumes obtenus figurent sur l'illustration 41.

La valeur du QMNA5 de l'étude et la valeur du débit maximal mensuel prélevé, figurant dans ce tableau, permettent potentiellement d'expliquer la différence de valeur avec le QMNA5 de la banque HYDRO, par exemple pour la Suipe à Selles, la Superbe ou la Vesle à Bouy.

Concernant les volumes prélevables, pour comparer les résultats il convient de :

- prendre les évaluations correspondant à la même période de calcul (a b ou c),
- soustraire à l'évaluation de l'étude le volume moyen prélevé hors irrigation,

Par exemple, pour l'Ardusson à St Aubin, sur la période allant d'avril à août, le volume GARDENIA étant de 2.8 et le volume prélevé hors irrigation étant de 0.5, on obtient ainsi 2.3 Mm³ soit la même valeur que celle fournie par TEMPO. Pour les autres bassins versants cette opération permet de :

- constater des valeurs communes ou voisines (Suipe à Selles, l'Herbissonne, la Superbe, ...),
- des différences qui s'expliquent uniquement par la différence de débit réservé dans le cours d'eau au droit de la station, par exemple la Barbuise,
- des différences limitées qui peuvent s'expliquer par les autres différentes conditions opératoires, (cf.ci-dessus) et par les incertitudes inhérentes à la démarche.

Si l'on effectue ces différentes vérifications, on constatera, qu'aux incertitudes près, seule les résultats obtenus sur la Soude semblent relativement différents. Pour les autres, même si tous

les bassins n'ont pas été traités, on peut estimer que les incertitudes vont toutefois dépendre des masses d'eau considérées. Significatives pour la masse d'eau 207 et 209, plus faible pour la masse d'eau 208, ces différences s'expliquent notamment par :

- un système crayeux plus homogène au droit de la masse d'eau 208,
- l'absence de courbe piézométrique au droit de la masse d'eau 207,
- la forte influence et forte incertitude sur les débits AEP de Paris sur le bassin versant de la Vanne (HG3209).

3.7. LIMITES D'UTILISATION DES MODELES

Si les caractéristiques physiques des bassins versants modélisés changent (extension des réseaux de drainage, couverture végétale, ...) et si les prélèvements sont sensiblement modifiés, l'utilisation du modèle sera faussée. En effet, pour ces modèles, les paramètres issus du calage dépendent des caractéristiques du bassin et des activités qui s'y déroulent. Si ces caractéristiques changent, le modèle nécessitera un nouveau calage.

Par ailleurs, la mauvaise connaissance de la répartition temporelle des prélèvements nuit fortement à la modélisation et à la détermination de l'impact de ces prélèvements.

L'amélioration des estimations des contributions des eaux souterraines au débit des rivières (« Part lente ») ou des impacts des prélèvements passe donc obligatoirement par l'amélioration et la disponibilité en temps opportun de l'ensemble des données nécessaires à la modélisation.

Par ailleurs, les modélisations ont été réalisées à l'aide d'un modèle global, qui comme son nom l'indique :

- peut permettre, avec de fortes hypothèses simplificatrices déjà évoquées, de tenir compte des prélèvements, au moins au niveau bilan,
- ne peut en aucun cas permettre de quantifier l'impact d'une modification des valeurs ou d'une répartition différentes des prélèvements des différents ouvrages sur le débit du cours d'eau.

Connaissance des ressources réellement disponibles sur l'ensemble des bassins versants crayeux
Bassin Seine-Normandie en Champagne-Ardenne

Bv_station	Débit échange Extérieur (l/s)	QMNA5 Etude GARDENIA (l/s)	Estimation volume disponible (Mm3) (a/b/c)*	QMNA5 Banque Hydro (l/s)	Débit mensuel max prélevé (l/s)	Volume moyen prélevé Hors irrigation (Mm3) (a/b/c)*	Volume TEMPO 2006 (Mm3) (c)*	Volume TEMPO 2009 (Mm3)	« Débit Critique » Etude TEMPO 2006 (l/s)
Herbissonne à Allibaudière	-220 -245	1.5 0	0.7/1.23/2.0 0.7/1.15/1.85	0	170	0.	1.4	1.9	50
Barbuise à Pouan	-260	28	1.4/2.6/3.8	19	250	0.08/0.13/0.13	3.2	2.9	100
Soude à Saudron (Pz Vailly) (Pz sompuis)	-162 -147 -165	31 30 25	1.1/2.0/2.9 1.1/2.0/2.9 1.15/2.1/2.8	30	40	0.2/0.3/0.3	1.3	0.42	70
Suipe à Selles	0	700	5.1/10.0/13.9	500	150	0.55/0.9/0.9	12.6	6.9	350
Ardusson à St Aubin	+7 -21	90 98	1.0/1.9/2.8 1.0/2.1/3.1	7	15	0.3/0.5/0.5	2.3	2.5	90
Auve à Dampierre	0	230	1.9/3.9/-	300	10	0.04/0.06/0.06	2.5	1.4	210
L'Huitrelle à L'Huitre	+23	228	1.6/3.0/-	230	185	0.3/0.5/0.5	1.9		170
La Superbe à St Saturnin	0	300	3.0/5.8/-	63	380	0.37/0.6/0.6	3.1	3.3	210
La Vesle à Bouy	-130	130	3.8/7.4/-	58	125	0.13/0.22/0.22	4.1	4.3	200

* : a : juin à août / b : mai à septembre/ c : avril à août

:

Illustration 41 : Tableau récapitulatif des résultats des modélisations GARDENIA (2013) et TEMPO (2006 et 2009) ainsi que les principales valeurs permettant d'expliquer les différences pour quelques bassins versants.

4. Prévisions des débits d'étiage

4.1. INDICATEURS PIEZOMETRIQUES

4.1.1. Introduction

La mise en œuvre de la circulaire du 30 juin 2008 du MEEDDM relative à la "résorption des déficits quantitatifs en matière de prélèvements d'eau et de gestion collective des prélèvements d'irrigation" nécessite la détermination d'indicateurs piézométriques pour accompagner l'évaluation des volumes prélevables.

L'indicateur piézométrique peut se définir par : variable de contrôle de l'état d'une ressource en eau souterraine soumise à des règles de gestion et associée à un piézomètre (ou plusieurs) de suivi de l'évolution de cette ressource. L'indicateur peut être caractérisé par une gamme de valeurs particulières (que l'on peut appeler seuils de gestion), qui peuvent correspondre à :

- un objectif de gestion : par exemple une piézométrie objectif d'étiage (POE),
- un (ou plusieurs) niveaux d'alerte (PSA), destinés à anticiper une situation de crise,
- un seuil de crise (PSC).

Dans le cas d'une nappe en relation avec un cours d'eau dont elle assure le soutien d'étiage, l'objectif de gestion n'est pas tant piézométrique que débitmétrique : il faut en effet définir une cote piézométrique (POE) qui permette de garantir le DOE (Débit Objectif d'Etiage) du cours d'eau, qui constitue donc la contrainte.

L'indicateur piézométrique idéal serait donc un piézomètre dont les mesures permettent d'établir une régression avec les mesures de débit à la station hydrométrique de référence. Si des indicateurs de ce type sont effectivement disponibles dans certains contextes géologiques particuliers, la grande majorité des corrélations entre mesures piézométriques et mesures de débit à la station hydrométrique se présentent sous la forme d'un nuage de points plus ou moins étendu.

L'examen de la décroissance des niveaux piézométriques (N.P.) d'un piézomètre représentatif de l'aquifère (indicateur) peut permettre d'estimer le débit d'étiage minimal à venir en utilisant la corrélation débit-niveau piézométrique. Pour cela il convient de tracer l'histogramme des niveaux durant les années les plus sèches et connaître la période et le débit réels des pompages car ceux-ci peuvent, suivant où ils se situent, influencer cette décroissance.

L'analyse des relations débit à la station – niveau piézométrique pour les différentes masses d'eau sera réalisée dans les paragraphes suivants au moyen de différents exemples afin de montrer que les résultats sont extensibles à l'ensemble des bassins versants constituant ces masses d'eau.

4.1.2. Masse d'eau HG3207

Exemple de Vesle à Puilsieux

- Décroissance et évaluations fréquentielles des niveaux piézométriques

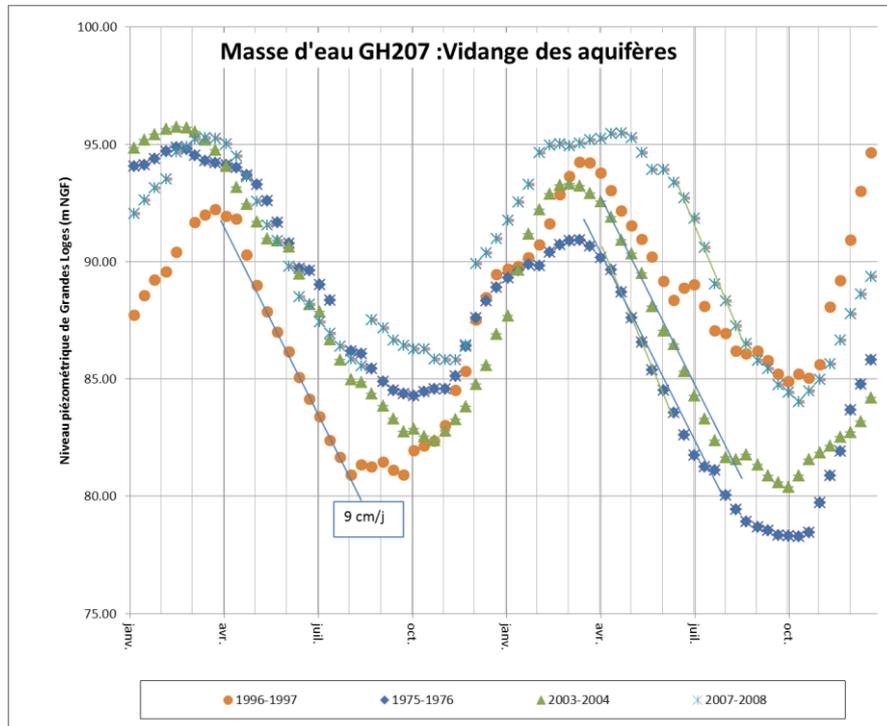


illustration 42 : Décroissances des niveaux piézométriques au piézomètre des Grandes Loges durant des années relativement sèches et vitesse de décroissance (cm/jour).

L'illustration 42 qui comporte le tracé d'années relativement sèches (1975-76 et 1996-97) permet de constater qu'il y a visiblement une vitesse de décroissance de niveaux commune, que l'on retrouve chaque année, d'environ 9 cm par jour (segment bleu) en partie médiane des niveaux. Cette figure permet également d'observer une vitesse de décroissance plus faible (de l'ordre de 5 cm/jour) pour des niveaux inférieurs situés aux alentours de 85 m NGF. La décroissance de ces faibles niveaux est cependant plus délicate à évaluer car elle correspond à la période d'influence maximale des éventuels prélèvements.

Un ajustement fréquentiel, suivant une loi de Gauss (normale ou dérivée), des niveaux piézométriques minima mensuels sur la période 1969 à 2011 permet, pour des cycles annuels, d'estimer les niveaux piézométriques pour différentes périodes de retour (illustration 43).

Fréquence	0.2	0.5	0.8
Niveau piézométrique aux Grandes Loges (m NGF)	81.6	83.87	86.11
Niveau piézométrique à Fresnes les Reims (m NGF)	67.2	67.47	67.75

illustration 43 : Niveaux piézométriques fréquentiels à Fresnes les Reims et aux Grandes Loges

Sur 8 années où le niveau piézométrique est descendu sous les 81.6 m NGF, 3 fois cela s'est produit après la période de prélèvements.

- **Relations débit à la station – niveau piezométrique**

L'illustration 44 fournit la relation entre débit à la station de la Vesle à Puisieulx et le niveau piézométrique observé au piézomètre des Grandes Loges. Dans le cadre de détermination du débit d'étiage il paraît souhaitable de définir le débit le plus probable c'est-à-dire en éliminant les couples (débit, n.p.) pouvant être modifiés par le biais d'apport au débit de ruissellement superficiel ou de rejet complémentaire.

Avec cette illustration 44, si la période d'observation est suffisante, la courbe enveloppe fournira une valeur minimale du débit pour un niveau piézométrique donné. Sur ces graphiques, il a été reporté les différents seuils d'alertes actuellement utilisés, tant pour les débits de la station de la Vesle à Puisieulx que ceux du piézomètre des Grandes Loges.

L'utilisation de ces graphiques permet de définir les cotes piézométriques au piézomètre des Grandes Loges garantissant un débit minimal égal au débit des différents seuils de la Vesle (illustration 45).

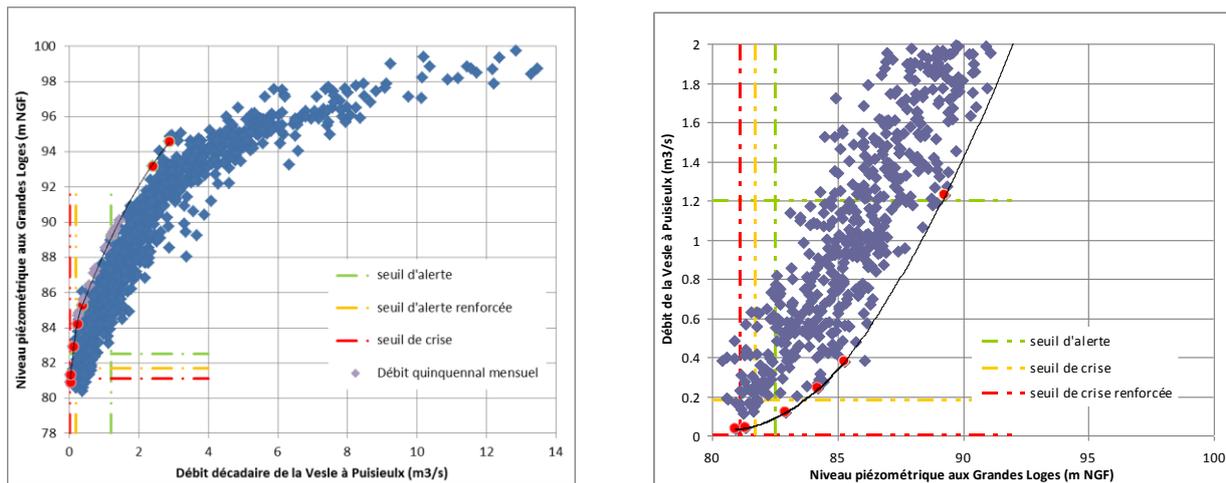


illustration 44 : Corrélation entre débit décadaire de la Vesle à Puisieulx et niveau piézométrique aux Grandes Loges

	Débit (m ³ /s): Vesle à Puisieux	Cote (m NGF) : 01584X0023 Grandes Loges
Seuil d'alerte	1.2	88.75
Seuil d'alerte renforcée	0.18	83.45
Seuil de crise	0	80.00

illustration 45 : Côtes piézométriques au piézomètre des Grandes Loges garantissant un débit égal ou supérieur au débit des différents seuils de la Vesle.

La dispersion des points, constituant cette corrélation, peut néanmoins s'expliquer par différents effets cumulés notamment :

- l'ajout, au débit de base souterrain, du ruissellement superficiel, de rejets divers ou de sous écoulement à la station,
- l'impact d'éventuels prélèvements sur le débit et/ou le niveau piézométrique (N.P.) dans le cas où les données n'ont pas été naturalisées (c'est-à-dire corrigées des influences anthropiques),
- le décalage temporel entre le niveau au piézomètre et le débit à la station, décalage qui peut être variable en fonction de la pente de l'écoulement souterrain et du contexte de la relation d'échange nappe-rivière (vidange ou recharge). Ce décalage peut être toutefois globalement corrigé au moyen de décalage défini par autocorrélation,
- d'autres phénomènes cumulatifs à préciser (taux de colmatage des berges,).

Une analyse plus détaillée a été réalisée sur la période où des données de prélèvements sont disponibles (à partir de 1994). Si l'on décompose les périodes de recharge et de vidange de la nappe on constate qu'il existe un effet « d'hystérésis » entre les variations de niveaux piézométriques et les variations de débits à la station, effet généré, au moins en partie, par inversion des échanges nappe-rivière (*illustration 46*).

En ne s'intéressant, pour la prévision d'un débit d'étiage, qu'à la courbe de vidange (*illustration 46 gauche*) on réduit ainsi fortement la largeur du nuage.

L'analyse des évolutions annuelles permet de constater :

- que celles-ci s'effectuent suivant des courbes quasiment parallèles,
- que l'évolution en période de recharge suit généralement une courbe située à des niveaux piézométriques légèrement inférieurs à la courbe de vidange, ce qui s'explique par l'inversion des échanges,
- que la courbe de vidange est relativement fiable jusqu'à l'atteinte du niveau le plus bas de l'année hydrologique en cours.

Cette analyse met donc en évidence qu'il est ainsi possible de définir, en début de période de vidange, la courbe de décroissance probable du débit d'étiage pour les mois qui viennent.

A l'aide de ces graphiques et des valeurs de décroissance moyenne des niveaux piézométriques, il apparaît donc possible de réaliser une estimation du débit d'étiage à l'horizon de quelques jours à quelques mois.

Connaissant le niveau piézométrique et le débit du jour j on pourra en déduire, en suivant cette courbe, le débit minimal du jour $(j+n)$ à l'aide du niveau correspondant au niveau du jour j diminué de la valeur de la baisse journalière (9 cm ou 5 cm pour les niveaux inférieurs à 85 m NGF) occasionnée par ces (n) jours.

Par ailleurs l'illustration 47 permet de constater que le même piézomètre permet d'avoir une relation similaire et stable avec les débits observés à chacune des stations hydrométriques de la même masse d'eau.

Ces différentes constatations permettent de conclure que la vidange se comporte de façon homogène, quel que soit le bassin versant considéré, sur l'ensemble de la masse d'eau.

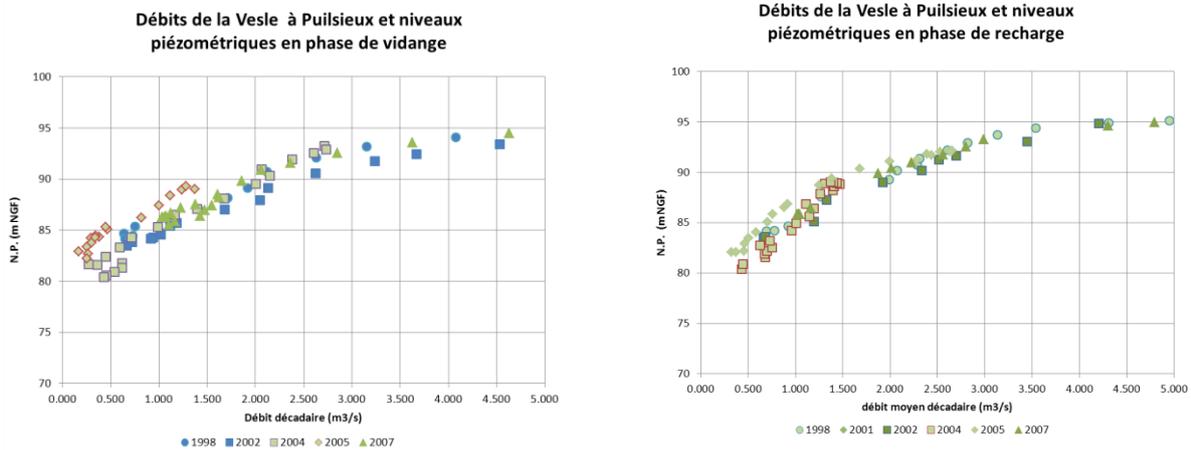


illustration 46 : Relation débit décadaire de la Vesle à Puilsieux - niveau piézométrique au piézomètre des Grandes Loges en phase de vidange (à gauche) et en phase de recharge (à droite)

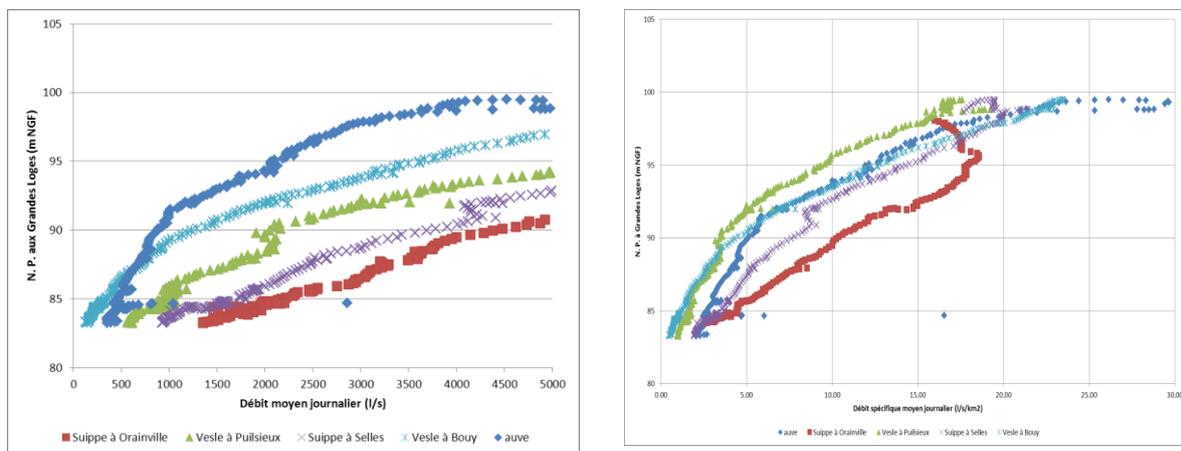


illustration 47 : Variations du débit et du débit spécifique moyens journaliers aux différentes stations de la masse d'eau HG3207 et du niveau piézométrique aux Grandes Loges durant la vidange 2002.

Exemple de la Suipe à Orainville

Les illustrations suivantes (illustration 48, illustration 49 et illustration 50) confirment les remarques précédentes pour le bassin versant de la Suipe à Orainville. On constate ainsi l'amélioration de la relation obtenue entre la première et la dernière illustration.

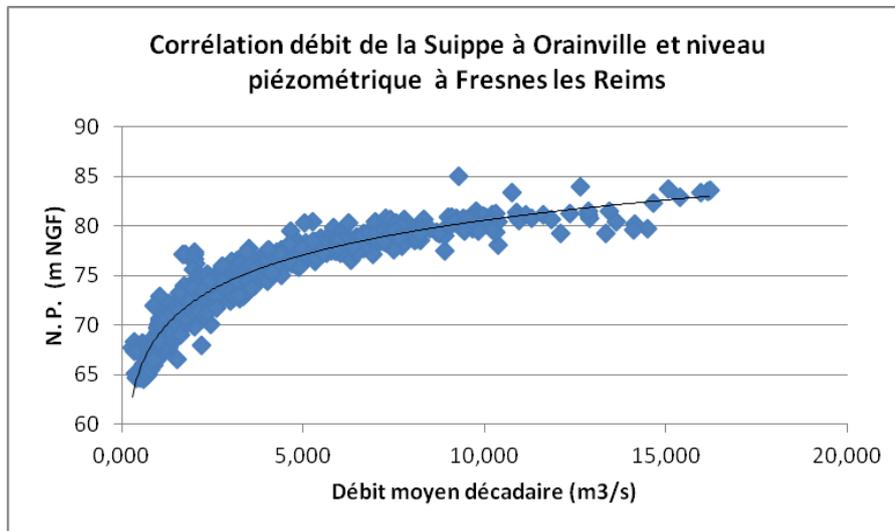


illustration 48 : Relation débit décadaire de la Suipe à Orainville - niveau piézométrique au piézomètre de Fresnes les Reims

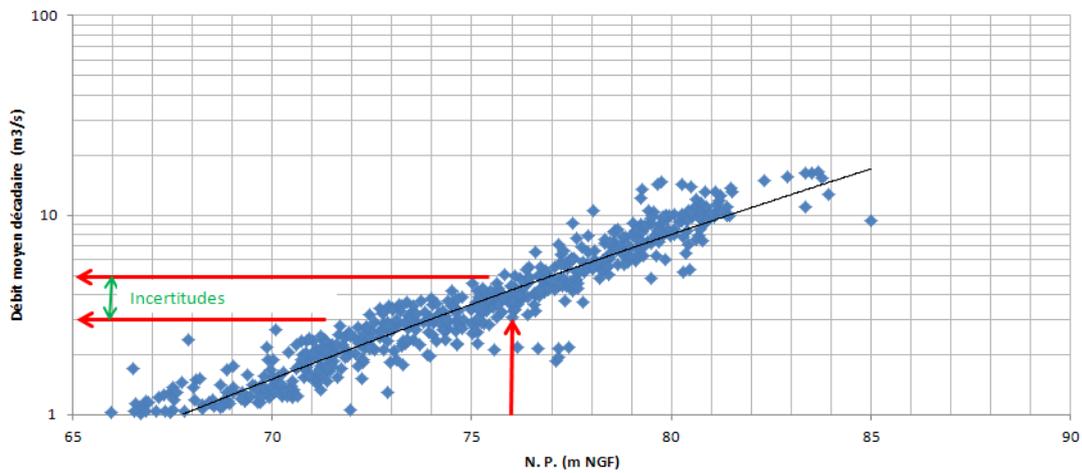


illustration 49 : Relation niveau piézométrique au piézomètre de Fresnes les Reims - débit décadaire de la Suipe à Orainville

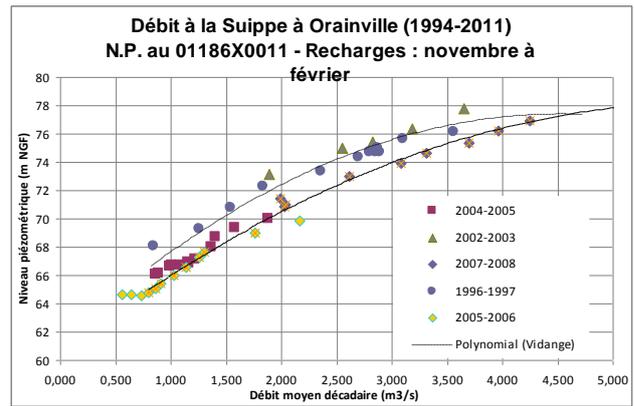
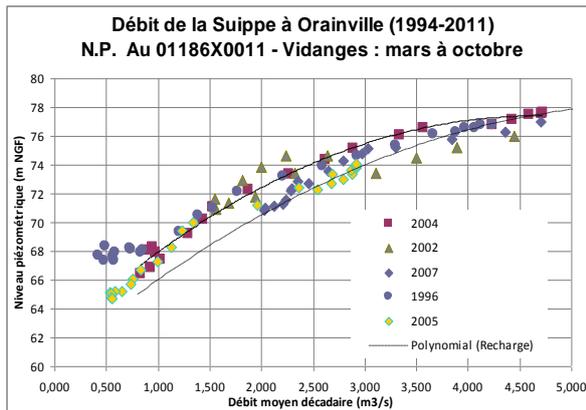


illustration 50 : Relation débit décadaire de la Suipe à Orainville - niveau piézométrique au piézomètre de Fresnes les Reims en phase de vidange (à gauche) et en phase de recharge (à droite)

4.1.3. Masse d'eau HG3208

Exemple de la Barbuise

- Décroissance et évaluations fréquentielles des niveaux piézométriques

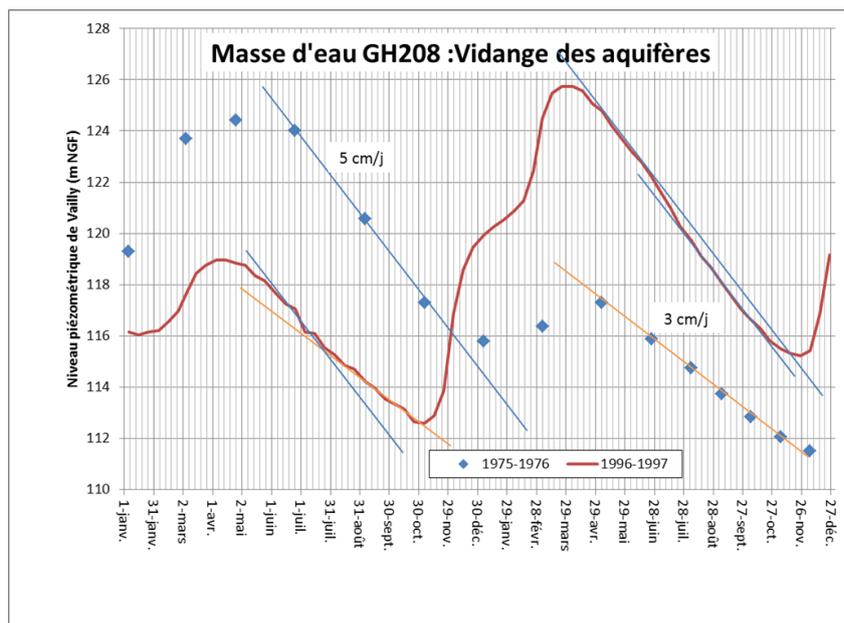


illustration 51 : Vitesse de vidange des aquifères : baisse du niveau piézométrique (exemple sur la masse d'eau (HG3208).

L'illustration 51 qui comporte le tracé des histogrammes des années relativement sèches (1975-76 et 1996-97) permet de constater qu'il y a visiblement deux vitesses de décroissance des niveaux que l'on retrouve sur chacun des histogrammes soit :

- 5 cm par jour (segment bleu), situé de préférence vers les niveaux supérieurs,
- 3 cm par jour (segment orange), situé au droit des niveaux inférieurs.

Si l'on fait abstraction des pompages permanents, on notera une augmentation de la pente en juillet 97 qui s'explique probablement par une augmentation des débits pompés lors de cette période.

Pour la gamme des débits d'étiage (niveaux piézométriques inférieurs), on retiendra donc une vitesse de vidange des niveaux piézométriques de 3 cm/jour pour les niveaux piézométriques inférieurs à 116 m NGF.

Un ajustement fréquentiel, suivant une loi de Gauss (normale ou dérivée), des niveaux piézométriques minima mensuels sur la période 1977/2011, malgré des lacunes de données sur 1992/1994, permet, pour des cycles annuels, d'estimer les niveaux piézométriques pour différentes périodes de retour (illustration 52).

Fréquence	0.2	0.5	0.8
Niveau piézométrique à Vailly (m NGF)	112.2	114.8	117.4

illustration 52 : Niveaux piézométriques fréquents à Vailly

- **Relations débit à la station – niveau piézométrique**

L'observation des illustration 53 et illustration 54 permet de constater les mêmes relations au droit de la masse d'eau HG3208 que celles observées avec la masse d'eau HG3207. On remarquera que la vidange 2002 (plus hautes eaux) se situe, durant l'étiage, sur l'enveloppe haute du nuage (illustration 54).

Sur l'illustration 55 on a reporté les relations entre les débits de la Barbuise à la station hydrométrique et les niveaux piézométriques aux piézomètres de Vailly et Orvilliers et l'on constate que ces relations sont quasiment identiques année par année et simplement décalées altimétriquement.

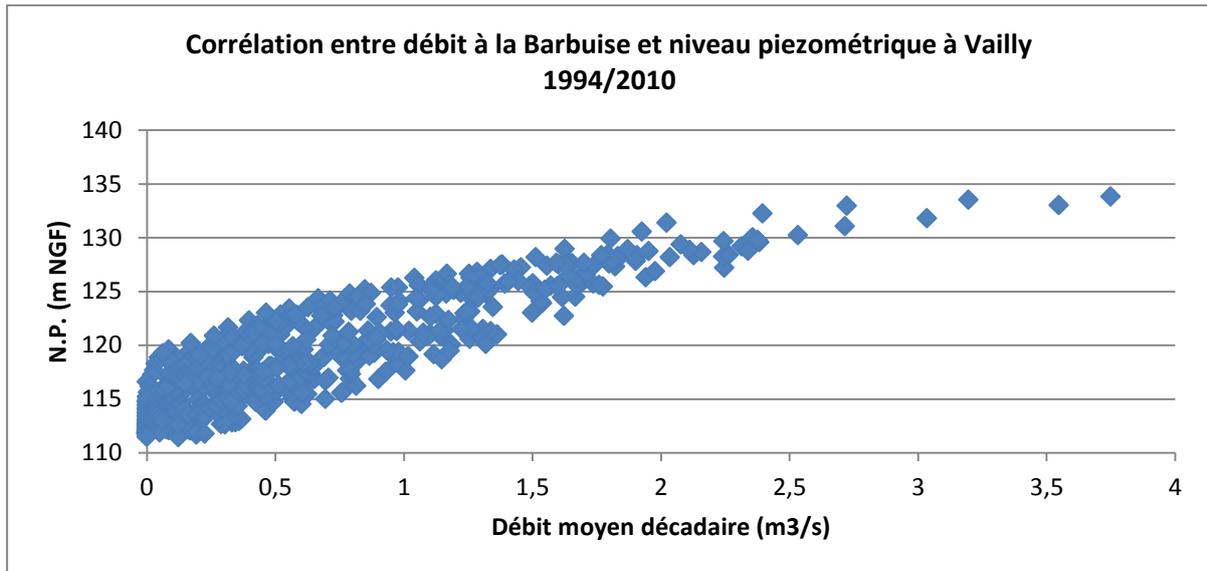


illustration 53 : Relation débit décadaire de la Barbuisse - niveau piézométrique au piézomètre de Vailly (données brutes)

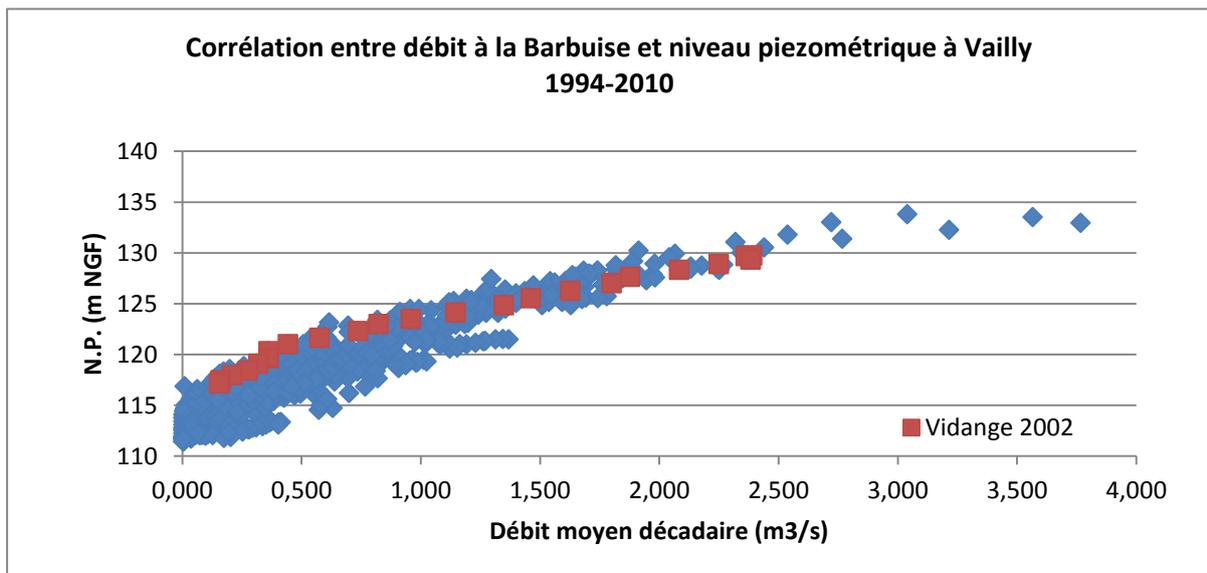


illustration 54 : Relation débit décadaire de la Barbuisse - niveau piézométrique au piézomètre de Vailly (données avec pompages et décalage temporel).

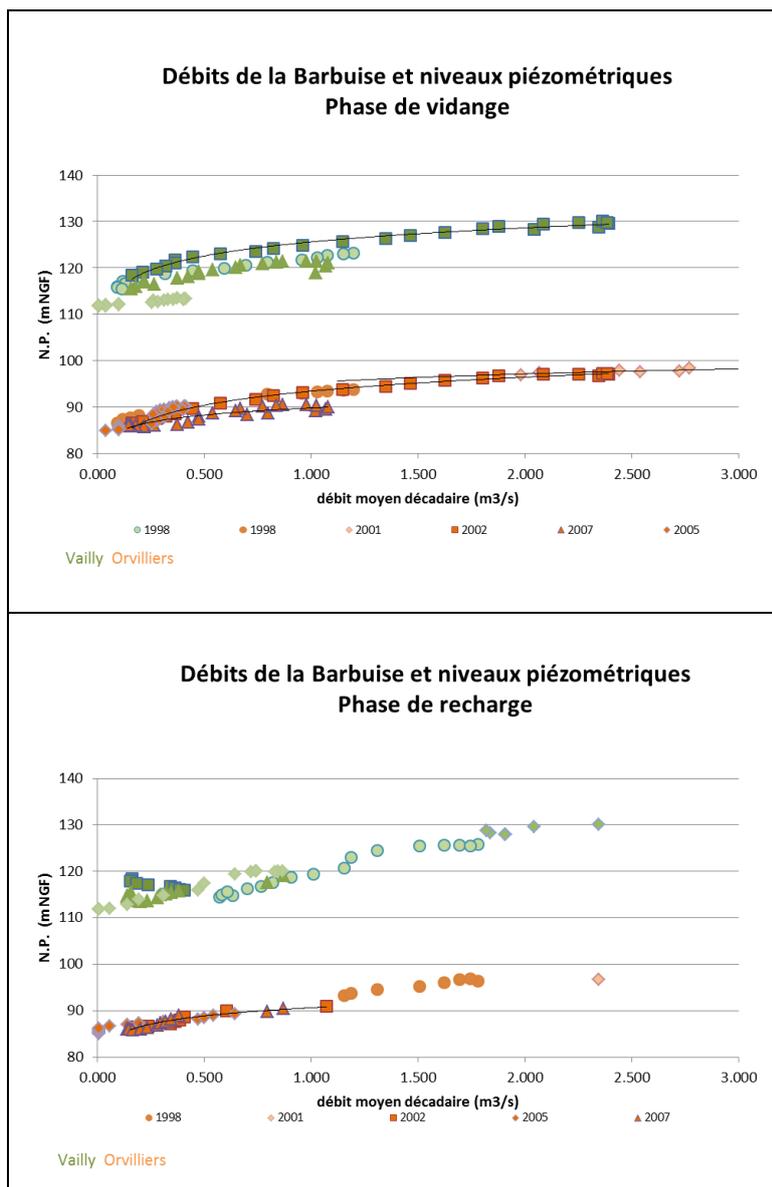


illustration 55 : Relation débit d'étiage décadaire de la Barbuise - niveau piézométrique aux piézomètres de Vailly et Orvilliers en phase de recharge (haut) et de vidange (bas) pour différentes années.

Pour la masse d'eau HG3208, comme pour la masse d'eau HG3207, le tracé des relations débits aux différentes stations – niveau piézométrique à Vailly (illustration 56), confirme que la vidange de la masse d'eau s'effectue de manière homogène et qu'ainsi un seul piézomètre peut être considéré comme représentatif de la totalité des bassins versants de cette masse d'eau.

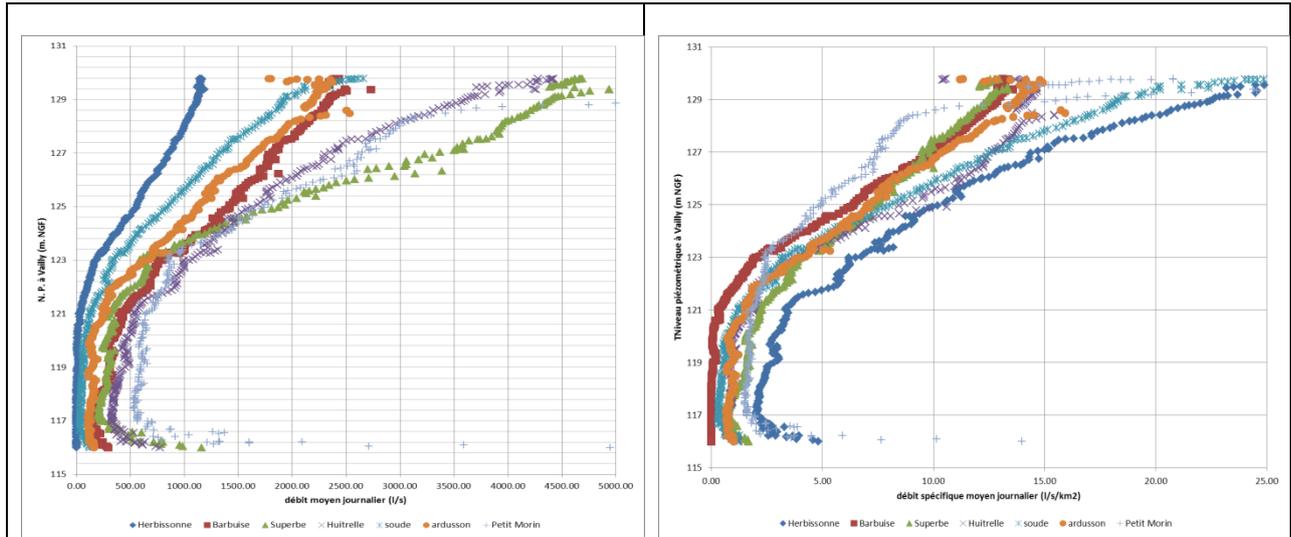


illustration 56 : Relation débit moyen journalier (à gauche) et débit spécifique moyen journalier (à droite) des différentes stations de la masse d'eau HG3208 - niveau piézométrique à Vailly en phase vidange pour l'année 2002.

- **Influence de la pluviométrie et du ruissellement**

L'illustration 57, permet de mettre en évidence :

- Un comportement d'ensemble commun des différents bassins versants,
- L'influence de la pluviométrie sur ces courbes de vidange.

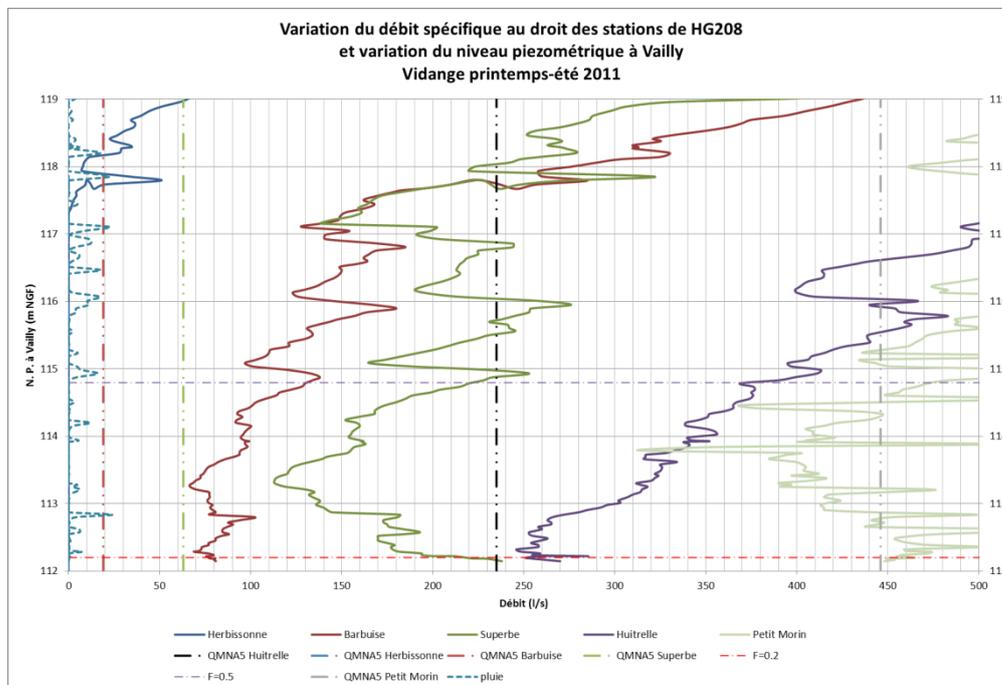


illustration 57 : Influence de la pluviométrie sur les relations débit-niveau de la masse d'eau HG3208.

A l'aide du graphique de l'illustration 58, connaissant le niveau du jour j on pourra en déduire le débit minimal du jour $(j+n)$ à l'aide du niveau correspondant en calculant ce niveau par soustraction, au niveau du jour j , la baisse journalière de 3 cm occasionnée par $(n-d)$ jours, d étant le nombre de jours de décalage défini par autocorrélation entre les débits et les niveaux piézométriques. Dans le cas présent ce décalage est d'environ 34 jours (les débits étant en avance).

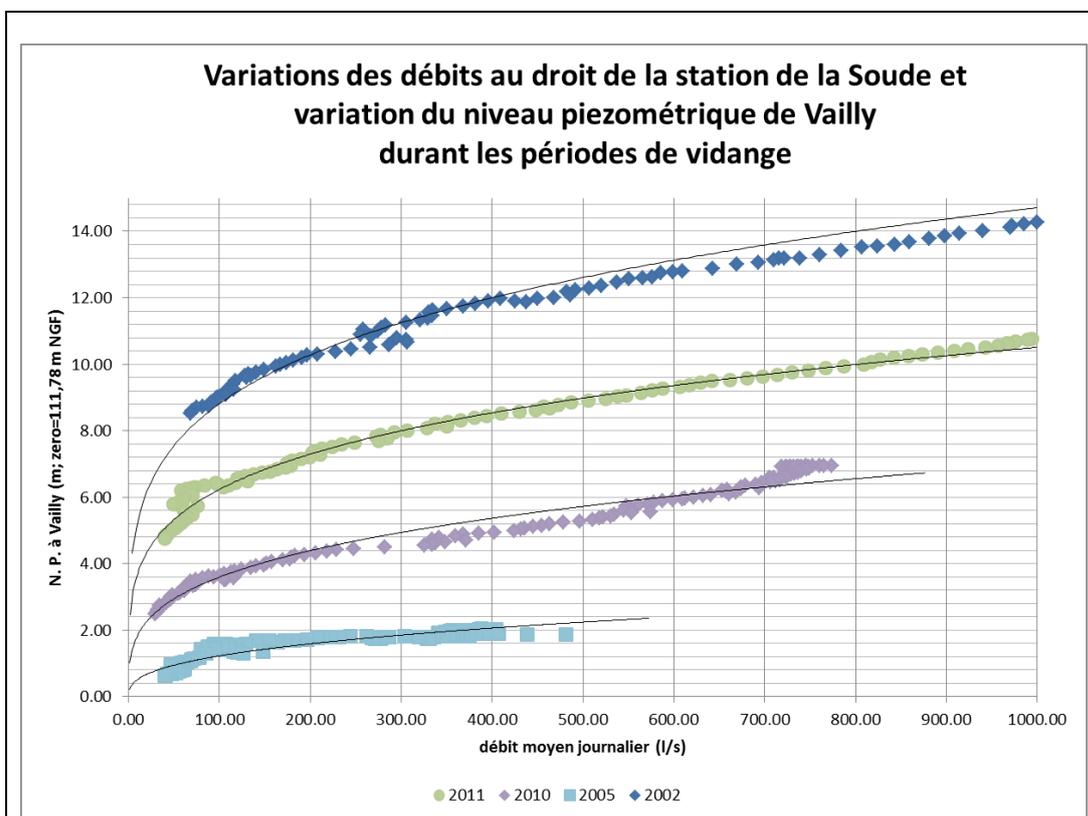


illustration 58 : Relation débit moyen journalier de la Soude et niveau piézométrique à Vailly pendant la période de vidange pour différentes années.

4.1.4. Masse d'eau HG3209

L'illustration 59 permet de constater un comportement général identique de la masse d'eau HG3209 à celle de la masse d'eau HG3208.

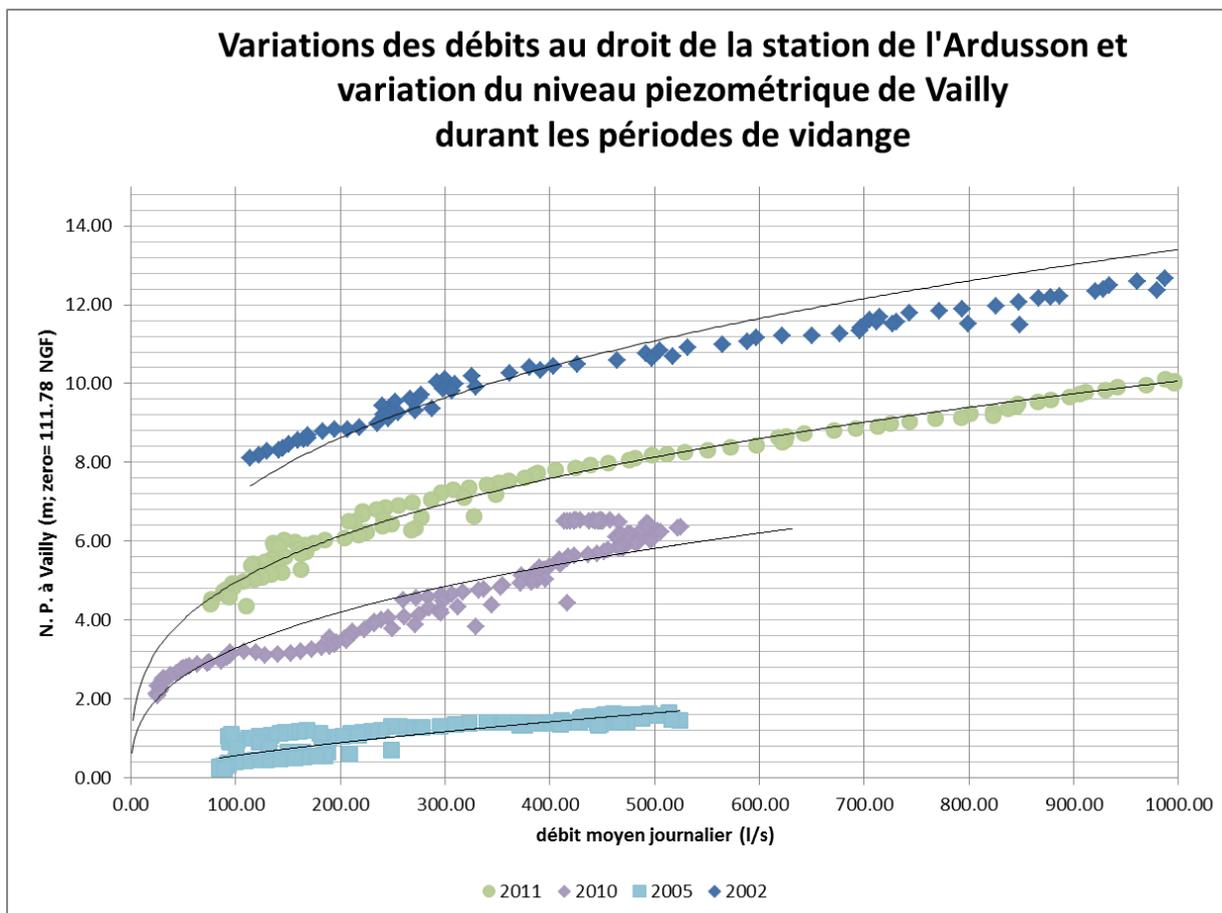


illustration 59 : Relation débit moyen journalier de l'Ardusson et niveau piézométrique à Vailly pendant la période de vidange pour différentes années

4.1.5. Masse d'eau HG3210

Cette Masse d'eau n'appartient pas à la région Champagne Ardenne mais elle comporte des piézomètres ayant un comportement inertiel encore plus marqué, ce qui permet d'envisager une méthodologie plus restrictive. En effet, contrairement aux autres masses d'eau dont les piézomètres ont tous des cycles annuels marqués dont certains sont mixtes avec un cycle pluriannuel, certains piézomètres de la HG3210 ont des cycles mixtes composés d'un faible cycle annuel et d'un cycle pluriannuel très marqué (inertie forte). C'est notamment le cas des piézomètres de Chuelles (03662x0222) et de Cheroy (03302x1012).

On retrouve pour les autres piézomètres des caractéristiques communes aux autres masses d'eau, c'est-à-dire ceux à :

- Cycle annuel marqué ou mixte mais à forte dominante annuelle : Melleroy (0412x0036), (04014x0010).
- Cycle mixte à cycle annuel et pluriannuel marqué du type Vailly (HG3209) : Chevannes (03298x1013), Saint-Fargeau (04333x0011).

Pour les piézomètres à forte inertie tel celui de Chuelles il apparaît très délicat d'établir une relation utilisable entre niveau piézométrique et débit à la station (Illustration 60).

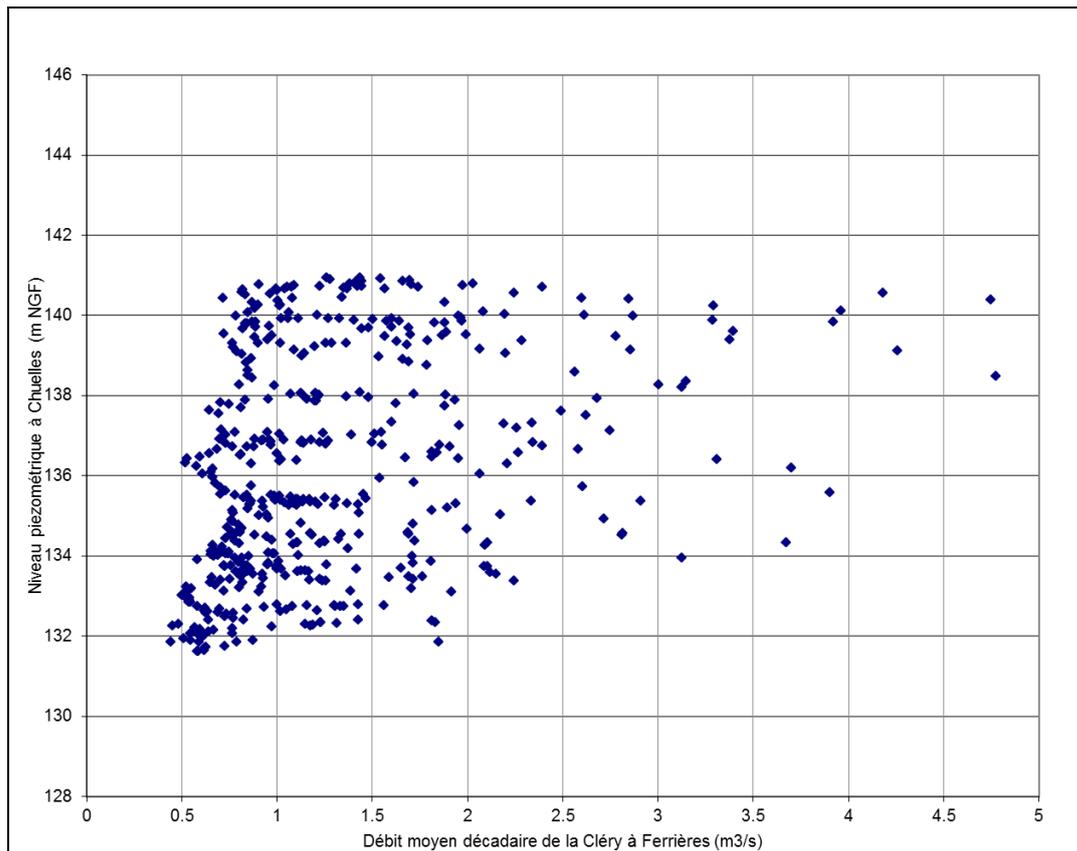


Illustration 60 : Relation entre débit décadaire mesuré à la station de la Cléry à Ferrières et niveau piézométrique mesuré à Chuelles (1997-2011)

Aussi, est-il apparu intéressant d'utiliser les résultats de la modélisation relativement satisfaisante de ce bassin versant. Après calage et extension sur la période 1972-201, on obtient, dans un premier temps, la relation entre débit décadaire et niveau piézométrique simulés figurant sur l'illustration 61. Ces points permettent de tracer une courbe enveloppe définissant le débit minimal pour une cote piézométrique donnée. Les points, représentés par des ronds rouge, définissent l'enveloppe des points générés par la simulation dont le calage a été réalisé en incluant les volumes pompés, ce sont ceux reportés sur l'illustration 61. Les points, représentés par des carrés, définissent l'enveloppe des points générés par la simulation dont le calage a été réalisé en ne tenant pas compte des volumes pompés. La différence entre ces deux courbes permet d'évaluer l'influence des pompages.

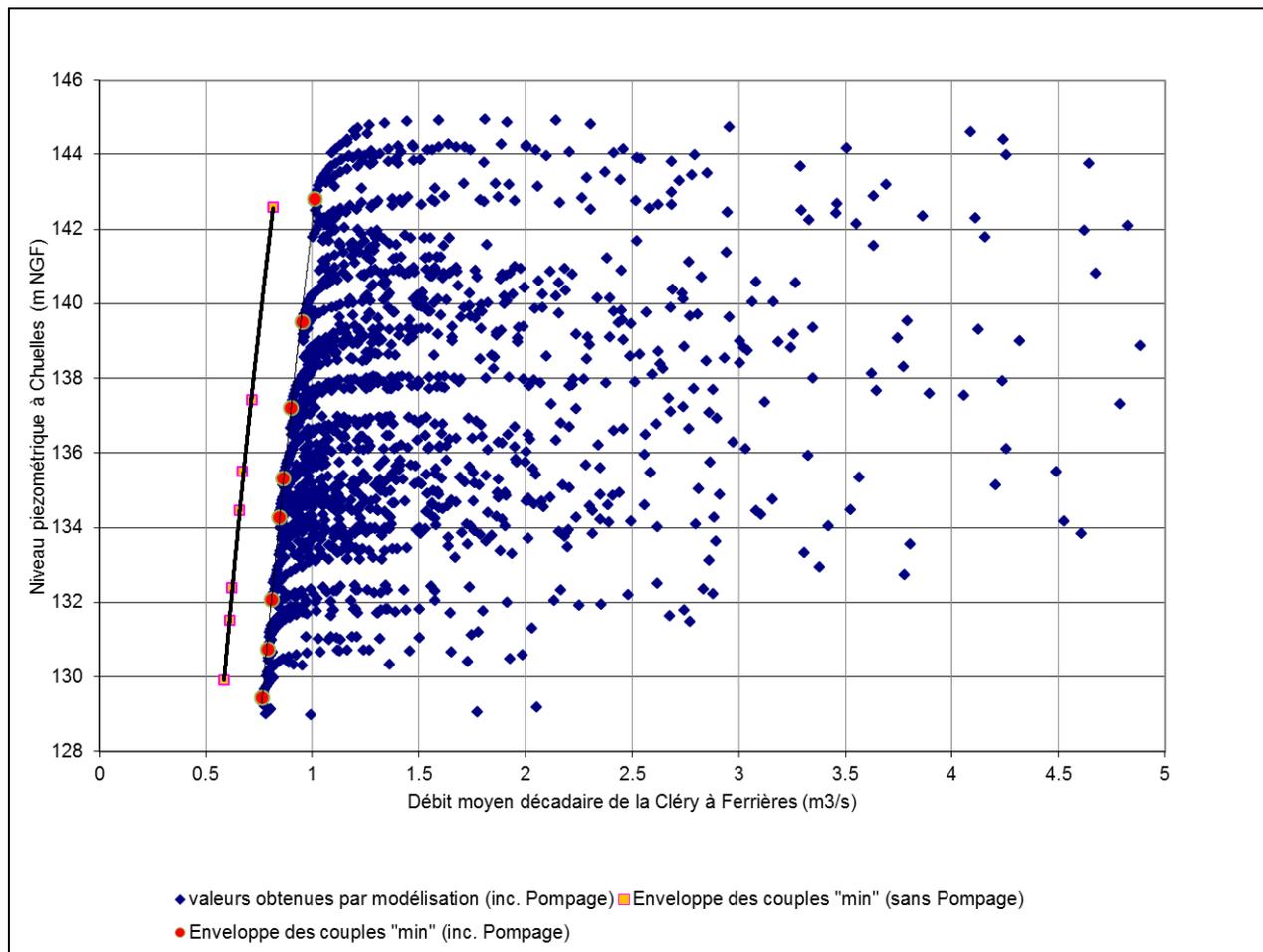


Illustration 61 : Relation débit à la station de la Cléry à Ferrières- Niveau piézométriques à Chuelles simulés sur la période 1972-2011

Grace à la modélisation, en annulant la pluie à des dates choisies afin de balayer l'ensemble des niveaux initiaux disponibles, on reporte sur l'illustration 62, comprenant les enveloppes précédemment définies, la décroissance des niveaux et débits à partir de la date d'arrêt de la pluie.

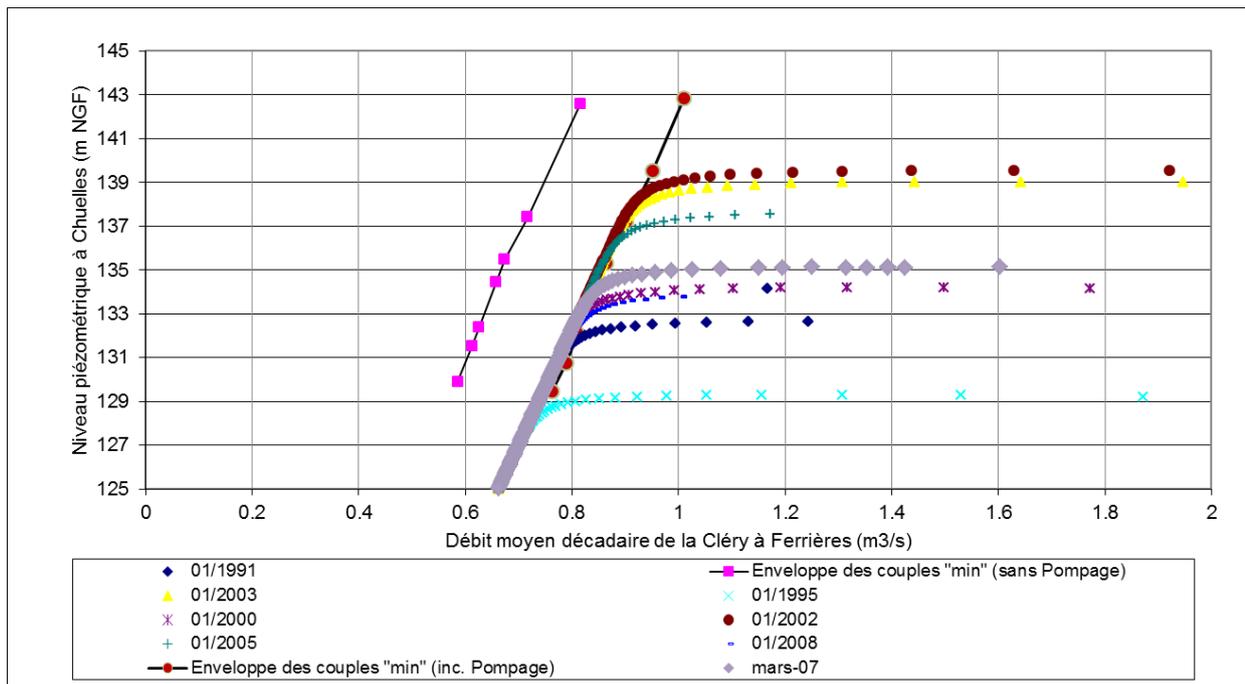


Illustration 62 : Relations débit à la station de la Cléry à Ferrières- niveau piézométrique à Chuelles obtenues à partir de la modélisation et décroissance des débits sous pluie nulle.

A l'aide de ce graphique il est ainsi possible de définir le débit minimal à partir du niveau actuel pour une date donnée sous réserve de préciser par ailleurs la vitesse de décroissance des niveaux. Pour cela, nous avons tracé la courbe de décroissance de ces niveaux en annulant la pluviométrie lors d'un niveau haut (Illustration 63).

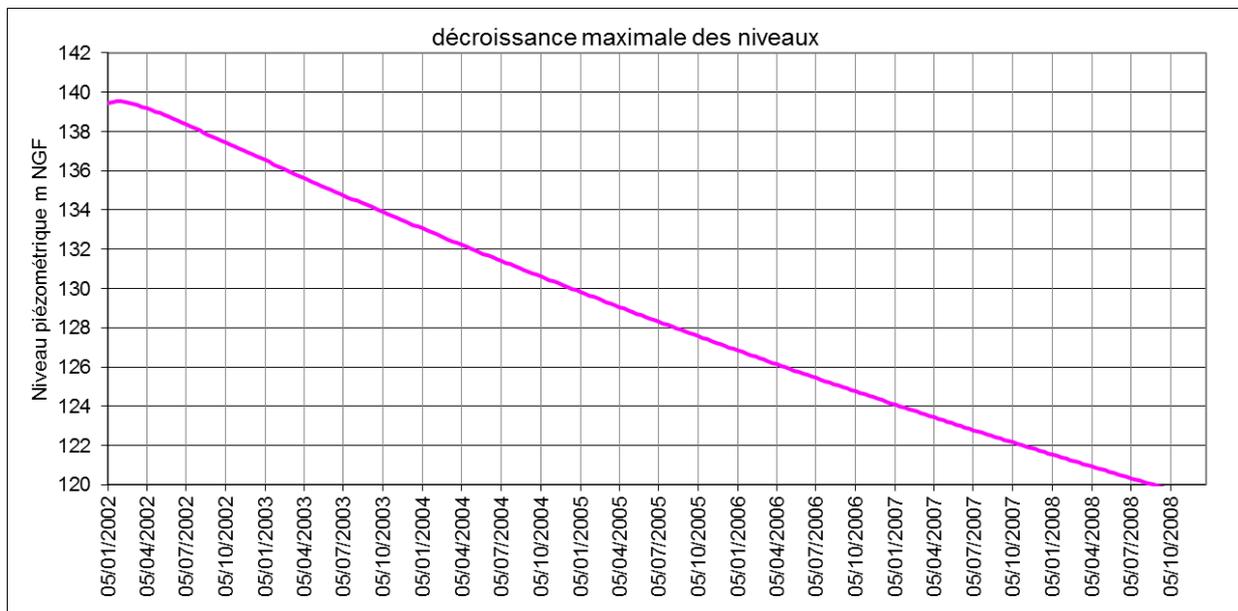


Illustration 63 : Décroissance maximale des niveaux piézométriques à Chuelles

Exemple : En date du 1^{er} avril, on désire connaître le niveau ou le débit nécessaire permettant d'être sûr de respecter un débit d'objectif d'étiage de 700 l/s tout en satisfaisant 70 l/s de prélèvement au début octobre après 3 mois de prélèvements totaux de 200 l/s (juillet, août,

septembre). Dans le cas présent la condition la plus restrictive est d'obtenir un débit de 900 l/s à fin septembre. Cette condition est satisfaite pour un niveau de 137.44 mNGF. Pour être sûr d'y satisfaire il faut donc avoir actuellement un niveau piézométrique de 139.19 m NGF au piézomètre de Chuelles. Cette condition est toutefois extrême dans la mesure où elle repose sur un arrêt total de la pluie. Pour tenir compte statistiquement de la pluie des mois à venir, il convient d'utiliser le modèle (cf.4.2)

4.1.6. Conclusion

Les masses d'eau HG3207 et HG3208 et HG3209 ont un comportement d'ensemble homogène qui se constatent au droit de tous leurs bassins versants. Il est ainsi possible de caractériser leur fonctionnement à l'aide d'un seul ou de plusieurs piézomètres par masse d'eau et le débit à venir et/ou le débit d'étiage probable de l'année au droit de leurs stations hydrométriques peuvent être approchés, aux apports par ruissellement près, uniquement à l'aide d'un ou des niveaux mesurés aux différents piézomètres indicateurs de ces masses d'eau.

Pour la masse d'eau HG3210, cela semble différent car on rencontre, au droit de cette masse d'eau, des piézomètres à cycles très différents.

Afin d'estimer les valeurs probables de l'étiage à venir il est nécessaire de définir ces relations nappes-rivière. La validité et précision de ces relations sont directement dépendantes de la qualité des données, des volumes pompés et des pluies (ruissellement) survenant durant les périodes d'étiage. L'unicité et la précision de cette relation va dépendre par ailleurs du système lui-même, système qui peut se caractériser notamment par le comportement des piézomètres :

- relation unique pour des piézomètres à cycles annuels,
- relations multiples pour des cycles mixtes à cycle annuel dominant, la relation à utiliser va fortement dépendre du niveau initial et donc varier d'une année à l'autre mais la forme générale de la va rester identique
- relations multiples et difficilement exploitables pour des cycles à forte inertie.

Pour les piézomètres à forte inertie (cycle mixte ou pluriannuel), mais a fortiori pour les autres, l'utilisation d'un modèle correctement calé peut permettre de définir suffisamment, à partir des valeurs simulées, ces relations nappe-rivière afin d'évaluer les valeurs minimales d'étiage probable.

4.2. MODELISATIONS GLOBALES

Une fois calés, les modèles peuvent aussi être exploités pour la prévision. Les scénarii à simuler sont alors fonction des objectifs assignés au départ à l'étude :

- évaluation de l'impact de scénarios climatiques,
- recherche d'une configuration optimale de prélèvements permettant de respecter des contraintes,
- prévision d'un état piézométrique face à une demande en eau accrue.

Dans le cadre de cette étude, il a paru intéressant de simuler les débits fréquentiels des différents bassins versants. Les précipitations n'étant pas connues après la date d'émission de la prévision, il est nécessaire de faire des hypothèses sur les précipitations futures.

La méthode de prévision employée par GARDENIA est la suivante :

- On rassemble un certain nombre d'années de précipitations réellement observées, de l'ordre de 30 à 50 ans si possible (ici, ce sont les données des stations utilisées pour le calage qui ont été utilisées sur toute leur période disponible).
- On suppose qu'après la date d'émission de la prévision (la première décade d'octobre) les précipitations des 12 mois suivants (octobre à septembre) ont une égale probabilité d'être les précipitations des mois d'octobre à septembre de l'année à modéliser.
- A partir des états du modèle (niveaux de ses réservoirs), GARDÉNIA réalise une simulation par année de précipitations disponible à la station (soit n années de précipitations).
- On dispose alors de n débits calculés pour la première décade d'octobre, de n débits calculés pour la deuxième décade d'octobre ... n débits calculés pour la troisième décade de septembre.
- Pour un jour donné on dispose donc de n réalisations et GARDÉNIA calcule le débit de probabilité de non-dépassement X % en classant tout simplement les n réalisations et en calculant le quantile X %. Ce calcul est fait séparément pour chaque pas de temps (pour chacune des 36 décades de la période du 1 octobre au 30 septembre dans notre cas).
- Pour une probabilité de non-dépassement donnée (de 90 % par exemple) on dispose chaque décade d'un débit (qui correspond à des années différentes). GARDÉNIA édite alors ces débits et les dessine. Ce sont des débits probabilistes.
- La courbe tracée donne pour chaque jour le débit ayant une probabilité de non dépassement donnée (de 90 % dans notre exemple). Il faut noter que la courbe de 20% correspond au respect de la directive cadre (8 années sur 10), raison pour laquelle elle est tracée en gras (mauve) sur les graphiques.
- GARDENIA réalise également une prévision sans aucune précipitation après la date d'émission de la prévision. Cette prévision donne les débits correspondant à la « prévision garantie ».

Les prévisions ont été réalisées avec comme date de départ début octobre car cela correspond à la date de l'étiage sévère et que les pompages agricoles se situent généralement entre mai et août. Les niveaux piézométriques influençant fortement les débits et/ou volumes disponibles de

l'année suivante, les prévisions ont été réalisées en prenant deux configurations initiales différentes :

- débit et niveau piézométrique de fin septembre 2011, (configuration année sèche à moyenne)
- débit et niveau piézométrique de fin septembre 2001 (configuration année humide).

Les graphes de prévisions sont joints en annexe.

Pour chaque bassin versant modélisé et pour chaque condition initiale, il a été calculé, sur la période allant de mai à août :

- le volume cumulé total prévisionnel de probabilité 20% (8 années sur 10),
- le volume cumulé prévisionnel de probabilité 20% dépassant :
 - le débit de seuil d'alerte (QS) actuellement existant
 - Le QMNA5 de la banque HYDRO, éventuellement actualisé par l'étude récente de l'IRSTEA lorsque les informations étaient disponibles,
 - Le QMNA5 évalué par l'étude (valeur entre parenthèse).

L'ensemble de ces résultats figure sur l'illustration 64.

station hydrométrique	Seuil d'alerte : QS qmna5 BH (étude)	Exemple 1 : année 2012			Exemple 2 : année 2002		
		Débit au début de la prévision (05/10) m ³ /s	Volume Q>QS Mm ³	Volume Q>0 Mm ³	Débit au début de la prévision (05/10) m ³ /s	Volume Q>QS Mm ³	Volume Q>0 Mm ³
L'Auve à Dommartin- Dampierre	0.53		0.7			2.65	
	0.3	0.23	2.0	5.1	1.17	4,9	8.8
	(0.230)		(2.8)			(5.8)	
La Retourne à Poilcourt- Sydney	0.34 (0.40)	0.45		7.0	1.25	-	11.1
La Retourne à Houdilcourt	0.35 (0.31)	0.44	3.65 (3.0)	8.2	1.31	7.6 (7.0)	12.1
La Suippe à Orainville	2.20		1.59			5.60	
	0.71	0.90	12.7	21.9	4.63	20.	29.2
	(0.73)		(12.5)			(19.8)	
La Suippe à Selles	1.30		2.5			5.82	
	0.50	0.58	9.7	16.2	3.00	14.8	21.3
	(0.70)		(7.2)			(12.2)	
Le Py à Dontrien	0.19 (0.176)	0.26		3.3	0.72	2.35	4.32
La Vesle à Bouy	0.51		3.31	8.4		4.38	9.59
	0.058	0.25			1.20		
	(0.121)						
La Vesle à Puisieux	1.20		0.3				
	0.233	0.35	7	10.	2.70	15.9	18.9
	(0.370)		(5.3)			(14.1)	
La Vesle à Beaumont-sur- Vesle	0.20	0.22	5.0	7.2	2.11	11.3	13.4
L'Huitrelle à l'Huitre	0.52		0.15			2.88	
	0.23	0.26	1.84	4.2	1.15	5.8	8.20
	(0.23)						

station hydrométrique	Seuil d'alerte : QS qmna5 BH (étude)	Exemple 1 : année 2012			Exemple 2 : année 2002		
		Débit au début de la prévision (05/10) m ³ /s	Volume Q>QS Mm ³	Volume Q>0 Mm ³	Débit au début de la prévision (05/10) m ³ /s	Volume Q>QS Mm ³	Volume Q>0 Mm ³
L'Herbissonne * à Allibaudières	0.08 0. (0.006)	0.00	0.56	1.3	0.30	2.38	3.22
La Barbuise * à Pouan-les-Vallées	0.31 0.019 (0.028)	0.07	0.19 2.5	2.7	1.30	4.21 7.2	7.43
La Superbe à Saint-Saturnin	0.44 0.063 (0.182)	0.12	2.10 6.35 (4.8)	7.2	3.00	8.76 13.8 12.3	14.7
La Coole à Ecury-sur-Coole	0.21 (0.)	0.00	0.65	2.7	0.89	3.48	5.66
La Soude * à Soudron	0.21 0.030 (0.03)	0.02	0.10 1.33	1.6	0.72	1.75 3.58	3.89
Le Petit Morin à Montmirail	0.69 0.45 (0.35)	0.41	0.16 1.10 1.85	6.2	4.28	6.16 8.05 9.35	13.9
L'Ardusson à Saint-Aubin	0.19 0.007 (0.07)	0.07	0.58	2.35	1.50	2.67	4.64
La Vanne à Paisy-Cosdon	0.19 0.771 (0.424)	0.08	1.02	3.0	1.77	9.21	11.2

illustration 64 : Prévision des volumes disponibles tous usages confondus (Mm³) entre Mai et Août pour l'année à venir avec une probabilité de 80% et suivant deux configurations initiales au 05 octobre (années 2002 et 2012) au droit des stations jaugées

5. Jaugeages d'étiages sur bassins versants non jaugés

5.1. LOCALISATIONS ET MESURES REALISEES

Deux campagnes de jaugeages ont été réalisées par la DREAL Champagne-Ardenne durant la période d'étiage 2011 (illustration 66). La localisation de ces jaugeages se trouve sur l'illustration 67. Ils sont répartis sur les trois masses d'eau et ont été réalisés durant 3 jours en août et 2 jours en octobre.

5.2. ANALYSE DES VALEURS DE JAUGEAGES OBTENUES

5.2.1. Introduction

Les jaugeages réalisés nous indiquent :

- Un assèchement des cours d'eau du Ravet, du Saint Fergeux, de la Maurienne et de la Saulce Champenoise,
- Une rapide décroissance des débits du Longsols, de la Somme Soude et de la Guenelle,
- Des débits spécifiques importants pour le Ru des Barres, faibles pour le Salon, la Guenelle, la Somme Soude, le Jailly et la Tourbe.

Pour analyse et comparaison, il convient toutefois de rajouter les débits des prélèvements aux débits des jaugeages (illustration 65).

Code	Commune	Rivière	superficie	volume annuel prélevé (m3)		Débit moyen prélevé (m3/s)	
				total	irrigation	total	hors irrigation
H1503401	Ramerupt	Le Puits	205	496851	378365	0.040	0.004
H1503104	Donnement	Le Meldançon	112	760353	604753	0.062	0.005
H1373109	Brillecourt	Le Ravet	63	619133	619133	0.059	0.000
H1403201	Verricourt	Le Longsols	96	327746	195606	0.023	0.004
H5203404	Pogny	La Moivre	152	478099	192641	0.027	0.009
H5203102	Saint Amand	Le Fion	57	663493	25633	0.023	0.020
H5203504	Togny aux Bœufs	La Guenelle		0	0	0.000	0.000
H6303203	Condé les Herpy	Le Saint Fergeux	55	105683	0	0.003	0.003
H6203108	Château d'eau	L'Avègres	107	16614	0	0.001	0.001
H6203203	Brière	Le Jailly	39	18379	0	0.001	0.001
H6203901	Bagot	L'Indre	62	0	0	0.000	0.000
H6063102	Ville sur Tourbe	La Tourbe	114	186061	69843	0.010	0.004
H6223402	Ambly	La Saulce Champenoise	29	92895	0	0.003	0.003

illustration 65 : Volumes et débits de prélèvements au droit des points jaugés ponctuellement (campagnes DREAL 2011).

Connaissance des ressources réellement disponibles sur l'ensemble des bassins versants crayeux
Bassin Seine-Normandie en Champagne-Ardenne

Code	Commune	Rivière	Xlambert II étendu	Ylambert II étendu	Première campagne			Deuxième campagne		
					4/08/2011	5/08/2011	11/08/2011	3/10/2011	4/10/2011	7/10/2011
H1603105	Ognes	La Maurienne	715466	2412505	0.000					
H1603003	Pleurs Amont	La Vaure	715565	2414266	0.070			0.026		
H1603801	Courcemain	Le Salon	716285	2403160	0.014			0.010		
H1503401	Ramerupt	Le Puits	744555	2392775	0.607			0.278		
H1503104	Donnement	Le Meldançon	755050	2392525	0.073			0.033		
H1373109	Brillecourt	Le Ravet	749910	2387620	0.000					
H1403201	Verricourt	Le Longsols	748860	2385390	0.155			0.048		
H5213108	Ferme de Conflans	La Somme	734240	2430520			0.128		0.023	
H5213010	Champigneulle Champagne	La Somme Soude	734360	2442910			0.117		0.005	
H5203404	Pogny	La Moivre	757310	2431860			0.272		0.165	
H5203102	Saint Amand	Le Fion	766920	2425760			0.102		0.071	
H5203504	Togny aux Bœufs	La Guenelle	754790	2430390			0.118		0.039	
H6303505	Saint Germainmont	Le ru des Barres	729970	2501540	0.805			0.478		
H6303203	Condé les Herpy	Le Saint Fergeux	736840	2505150	non jaugé			0.000		
H6203108	Château d'eau	L'Avègres	775455	2482265		0.154				0.064
H6203203	Brière	Le Jailly	775680	1485200		0.013				0.007
H6203901	Bagot	L'Indre	772490	2488490		0.111		0.084		
H6063102	Ville sur Tourbe	La Tourbe	778370	2468000	0.050			0.040		
H6223402	Ambly	La Saulce Champenoise	756450	2501020		0.021		0.000		

illustration 66 : Jaugeages réalisés durant l'été 2011 par la DREAL Champagne-Ardenne sur des bassins versants non suivis

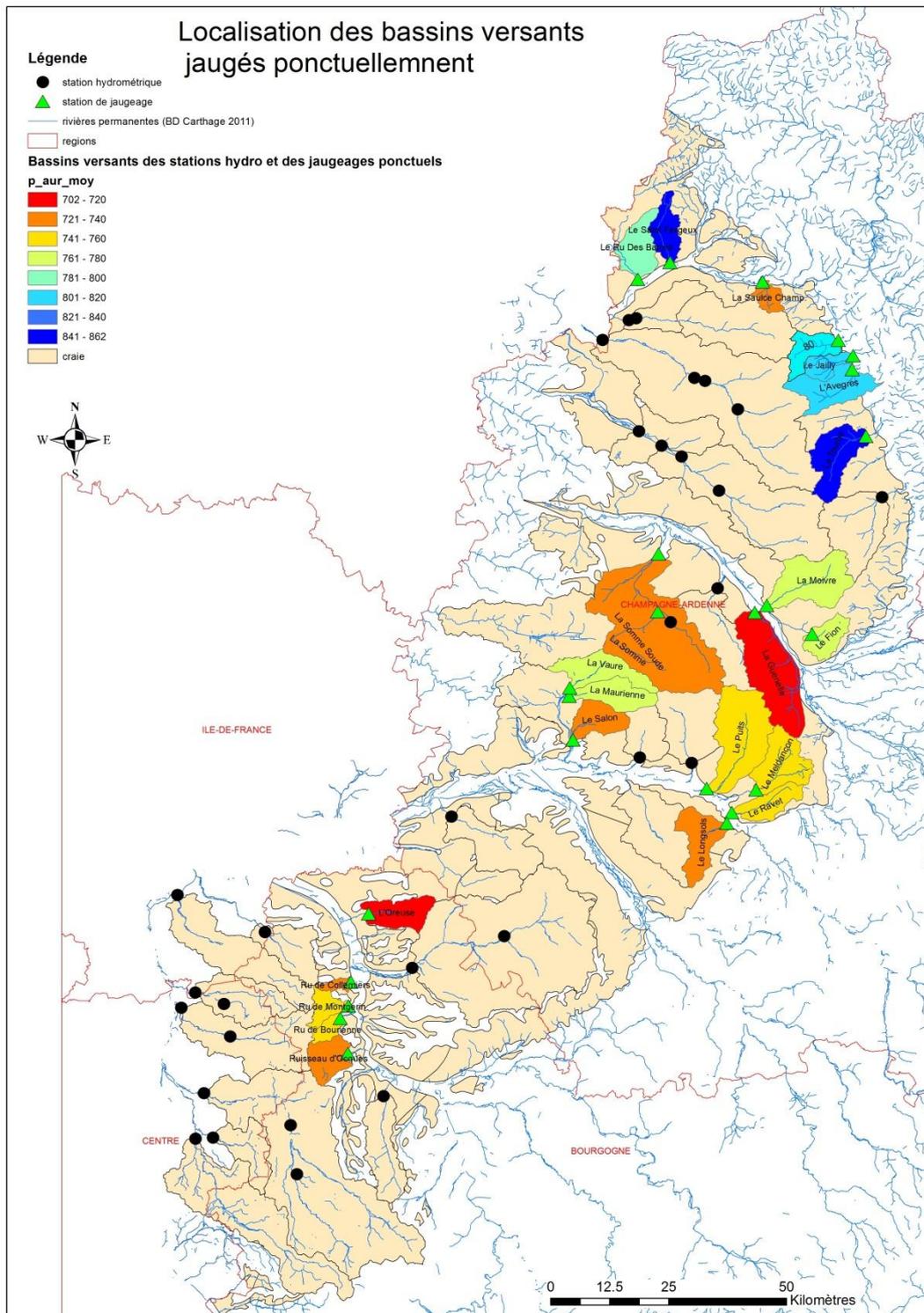


illustration 67 : Localisation des bassins versants jaugés ponctuellement durant l'été 2011 et pluviométrie moyenne interannuelle aux droit de ces bassins versants (données Météo France, méthode Aurelhy).

Par ailleurs afin d'estimer la rudesse de l'étiage 2011, l'illustration 68 permet de vérifier que les débits au droit des stations suivies ne sont pas des débits particulièrement rares, ils sont tous légèrement supérieurs aux débits estimés de fréquence quinquennale et on peut, d'après ces débits, estimer que la période de retour se situe entre 2 voire 3 et 5 ans.

cours d'eau	station	numero	superficie bv km2	altitude (m) station	masse d'eau	qma5 (l/s)	VCN3 (5) (l/s)	débit mini. mensuel 2011 (l/s)	débit mini. journalier 2011 (l/s)
La Suippe	Selles	H6313030	486	87	HG207	500	430	630	584
La Vesle	Bouy	H6402010	286	104	HG207	58	33	92	10
La Vesle	Puisieux	H6402030	603	81	HG207	230	170	363	317
L'Huitrelle	Lhuitre	H1503510	160	99	HG208	230	190	248	233
L'Herbissonne	Alibaudières	H1503910	87	91	HG208	0	0	0	0
La Barbuise	Poan-les-Vallées	H1513210	187	86	HG208	19	6	79	67
La Superbe	Saint Saturnin	H1603010	320	79	HG208	63	37	149	113
La Coole	Ecury sur Coole	H5204210	150	85	HG208	0	0	0	0
la Soude	Soudron	H5213310	105	110	HG208	30	24	34	30
Le Petit Morin	Montmirail	H5412010	354	120	HG208	480	420	417	313
L'Ardusson	Saint Aubin	H1713010	159	71	HG209	7	0	107	76/83

illustration 68 : Estimation de la période de retour de l'étiage 2011

5.2.2. Masse d'eau HG3207

Décroissance des débits

L'illustration 69 montre les variations de débits spécifiques afin de comparer leur décroissance et situer la décroissance des débits des points de jaugeages ponctuels.

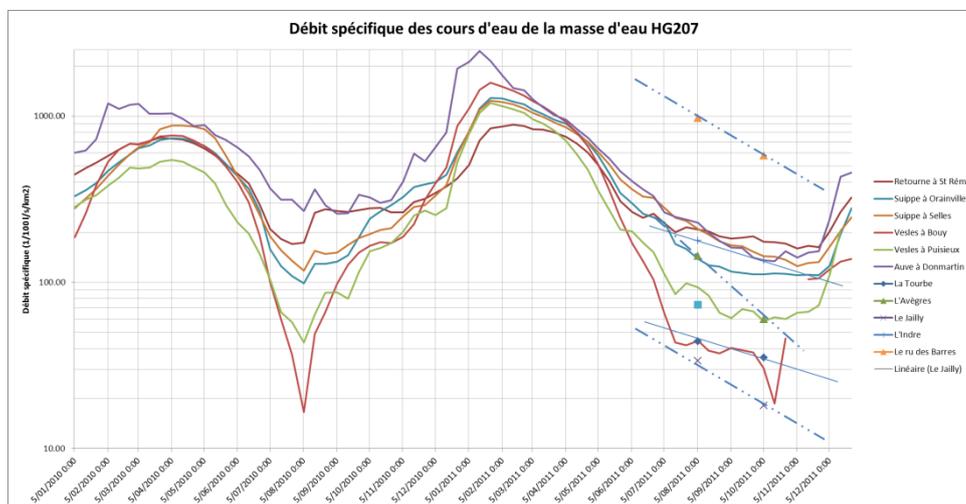


illustration 69 : Variation des débits spécifiques des cours d'eau de la masse d'eau HG3207 en 2010-2011

Si l'on considère que ces bassins versants jaugés dépendent des mêmes systèmes hydrogéologiques que les bassins versants voisins suivis, on pourra supposer que, durant l'étiage :

- les cours d'eau qui s'assèchent (au droit des points mesurés) sont le lieu d'écoulement souterrain non mesuré,

- les fortes décroissances de débits indiquent probablement des apports, si le débit spécifique est fort, ou des pertes (débit spécifique faible) avec des bassins versants adjacents,
- de faibles débits spécifiques signifient probablement que le bassin versant souterrain est plus restreint que le bassin versant topographique.

Evaluation graphique des QMNA5

Dans le paragraphe précédent il a été montré que le comportement de tous les bassins versants d'une même masse d'eau suivait une relation de décroissance des débits qui pouvait être précisée à l'aide de la décroissance d'un seul piézomètre, décroissance régulière au ruissellement près. En prolongeant la décroissance de chacun de ces bassins suivant une relation linéaire, il est ainsi possible d'approcher les valeurs d'étiage attendues de ces différents bassins.

Sur l'illustration 70, il a été reporté les couples (débit-niveau piézométrique) de bassins versants suivis de cette masse d'eau ainsi que les couples (débit jaugé-niveau piézométrique correspondant) aux jaugeages volants réalisés en 2011. Cette année 2011, fournissant des débits d'étiage proches de la quinquennale sèche, les débits d'étiage de fréquence quinquennale sèche peuvent ainsi être approchés au droit des bassins versants jaugés. L'intersection entre la droite reliant les points jaugés ou les points des stations suivies et l'horizontale représentant le niveau piézométrique de période de retour 5 ans, définie par ajustements (cf. *illustration 43* p. 66) fournit ainsi une première évaluation des QMNA5.

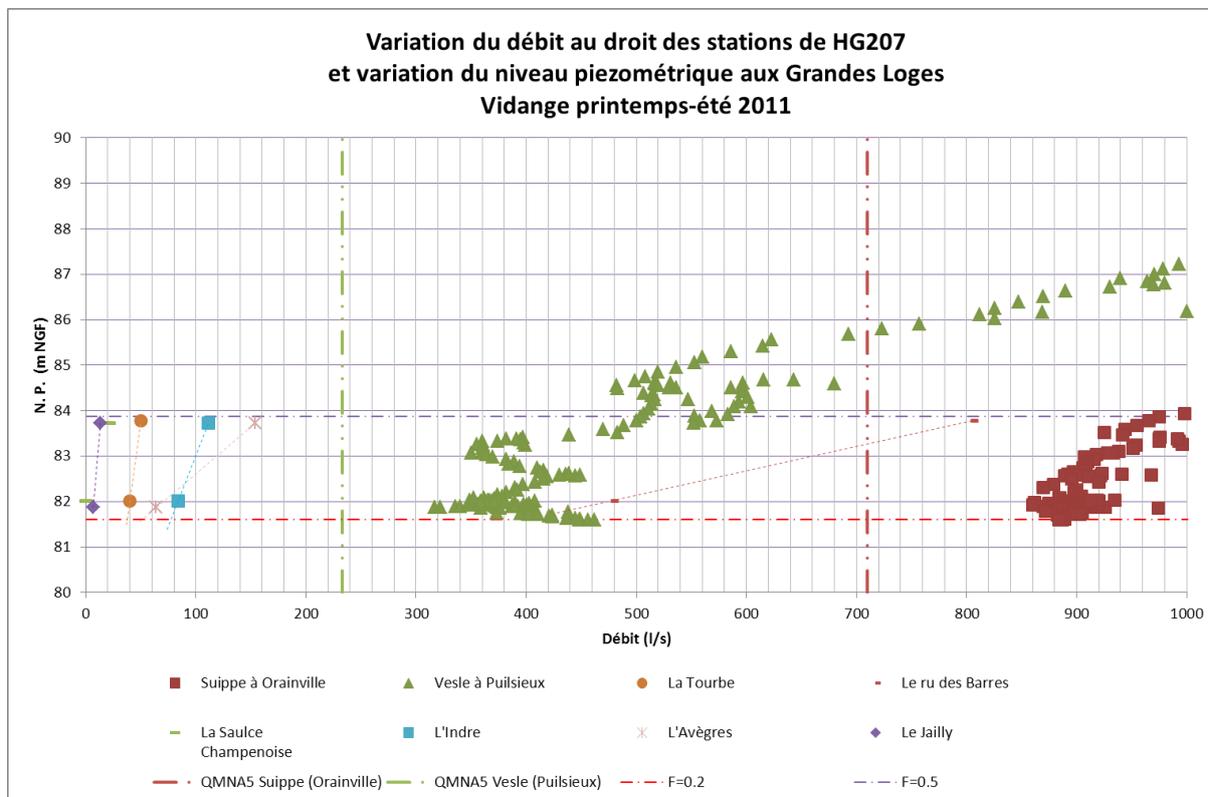


illustration 70 : Méthode graphique d'évaluation des QMNA5 des bassins versants jaugés de la masse d'eau HG3207 à l'aide du piézomètre des Grandes Loges.

Cette évaluation peut être réalisée à l'aide des différents piézomètres représentatifs du comportement de la masse d'eau. Pour la masse d'eau HG3207, ces piézomètres sont les piézomètres de Grandes Loges et de Fresnes les Reims. L'illustration 71 récapitule les évaluations des QMNA5 obtenues par cette méthode au droit des stations suivies et au droit des bassins versants jaugés, ce qui permet en le comparant aux résultats de la banque hydro de situer l'ordre de grandeur des incertitudes.

Jaugeages ponctuels			Evaluation du QMNA5 (l/s)		
Code	Commune	Rivière	Pz Fresnes les Reims	Pz Grandes Loges	Valeur médiane
H6303505	Saint Germainmont	Le ru des Barres	280	400	340
H6203108	Château d'eau	L'Avègres	20	50	35
H6203203	Brière	Le Jailly	5	5	5
H6203901	Bagot	L'Indre	70	80	75
H6063102	Ville sur Tourbe	La Tourbe	35	40	38
H6223402	Ambly	La Saulce Champenoise	0	0	0

Stations hydrométriques			Evaluation du QMNA5 (l/s)		
Code	Commune	Rivière	Pz Fresnes les Reims	Pz Grandes Loges	banque Hydro
H6313020	Orainville	La Suipe	800	840	710
H6402030	Puisieux	La Vesle	300	300	233

illustration 71 : Evaluation des QMNA5 des bassins versants jaugés de la masse d'eau HG3207 au moyen de la décroissance des débits et des indicateurs piézométriques (Fresnes les Reims et Grandes Loges)

5.2.3. Masse d'eau HG3208

Les démarches, informations et évaluations sont identiques à celles réalisées pour la masse d'eau HG3207.

Décroissance des débits

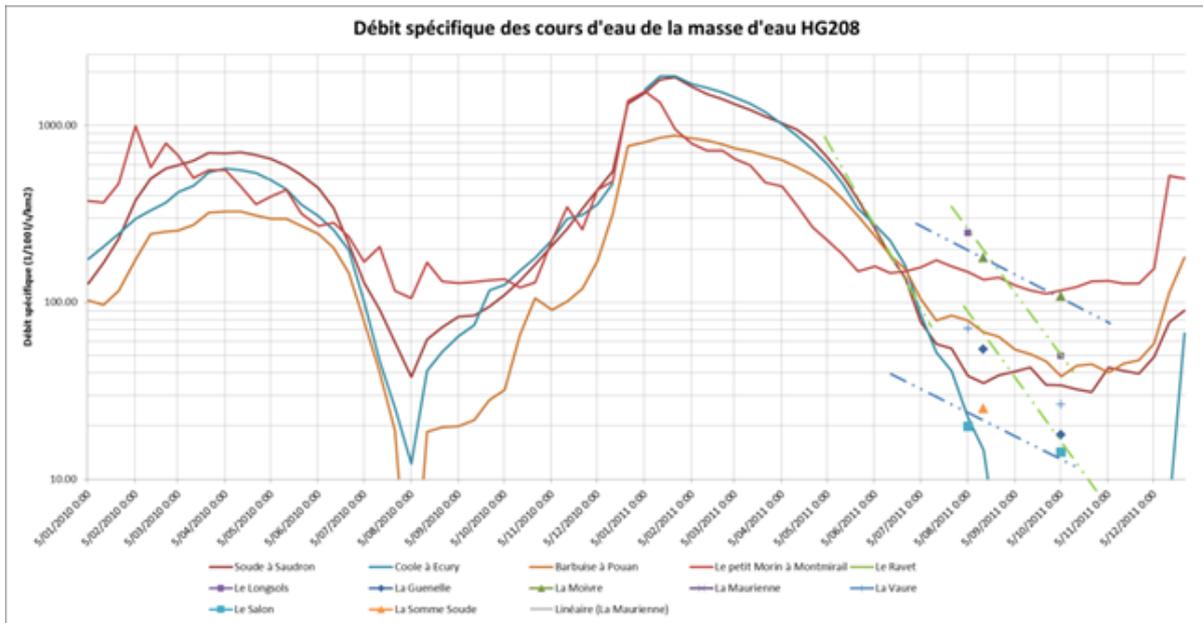


illustration 72 : Variation des débits spécifiques des cours d'eau de la masse d'eau HG3208 en 2010-2011

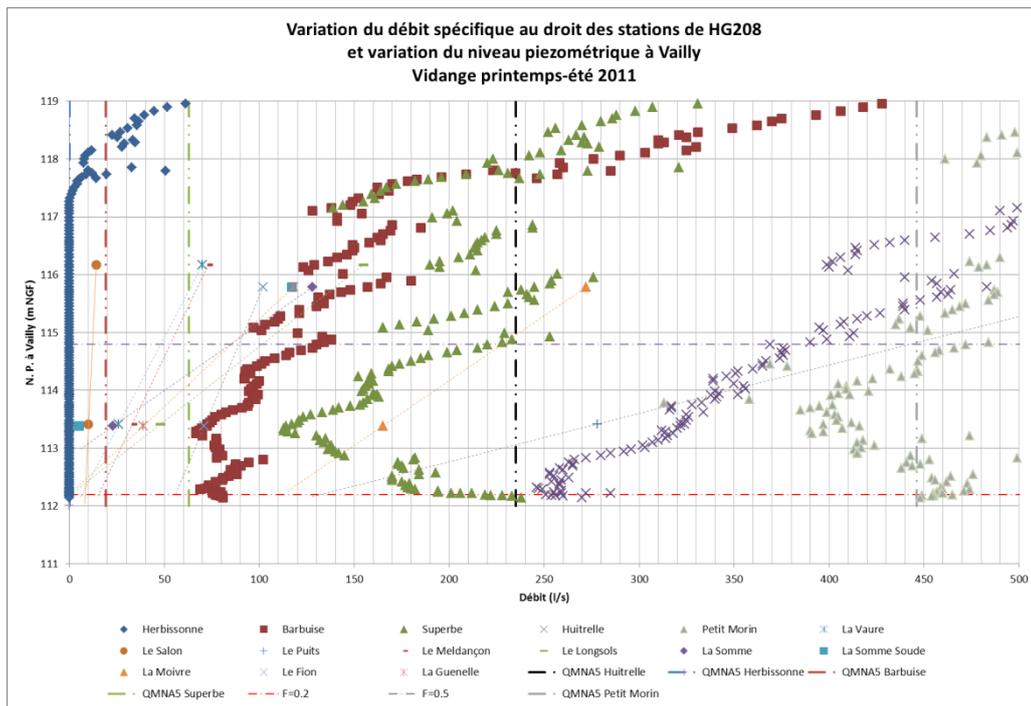


illustration 73 : Méthode graphique d'évaluation des QMNA5 des bassins versants jaugés de la masse d'eau HG3208 à l'aide du piézomètre de Vailly

L'illustration 74 récapitule les évaluations des QMNA5 obtenues par la méthode graphique (illustration 73) au droit des stations suivies et au droit des bassins versants jaugés, ce qui permet en le comparant aux résultats de la banque hydro de situer l'ordre de grandeur des incertitudes.

Jaugeages ponctuels			Evaluation du QMNA5 (l/s)
Code	Commune	Rivière	Pz Vailly
H1603105	Ognes	La Maurienne	0
H1603003	Pleurs Amont	La Vaure	10
H1603801	Courcemain	Le Salon	10
H1503401	Ramerupt	Le Puits	140
H1503104	Donnement	Le Meldançon	15
H1373109	Brillecourt	Le Ravet	0
H1403201	Verricourt	Le Longsols	0
H5213108	Ferme de Conflans	La Somme	0
H5213010	Champigneulle Champagne	La Somme Soude	0
H5203404	Pogny	La Moivre	115
H5203102	Saint Amand	Le Fion	55
H5203504	Togny aux Bœufs	La Guenelle	0

Stations hydrométriques			Evaluation du QMNA5 (l/s)	
Code	Commune	Rivière	Pz Vailly	banque Hydro
H1503510	Lhuitre	L'Huitrelle	240	230
H1503910	Allibaudières	L'Herbissonne	0	0
H1513210	Poan-les-Vallées	La Barbuise	50	19
H1603010	Saint Saturnin	La Superbe	100	63
H1713010	Saint Aubin	L'Ardusson	70	7
H5213310	Soudron	la Soude	30	30
H5204210	Ecury sur Coole	La Coole	0	0
H5412010	Montmirail	Le Petit Morin	313	480

illustration 74 : Evaluation des QMNA5 des bassins versants jaugeés de la masse d'eau HG3208 au moyen de la décroissance des débits et de l'indicateur piézométrique (Vailly)

Aucun jaugeage n'ayant été réalisé sur la masse d'eau HG3209, celle-ci ne donne pas lieu au développement d'un paragraphe spécifique

5.3. EVALUATION PAR MODELISATION GLOBALE

5.3.1. Principe

Suite aux analyses et constatations émises au paragraphe §4.1 ainsi qu'aux constatations issues des courbes piézométriques, les différents bassins versants jaugés ont été modélisés en utilisant en données d'entrée :

- Les rares valeurs de débits jaugés,
- Les niveaux piézométriques des piézomètres jugés représentatifs des masses d'eau concernées : Grandes Loges (HG3207) et Vailly (HG3208)
- La pluviométrie évaluée au paragraphe §5.1 (illustration 67)

Les calages ont été réalisés en commençant avec les paramètres des bassins versants suivis les plus proches et ayant une rugosité moyenne voisine à l'exception des débits d'échange qui ont été :

- ajustés par calage lorsque le bassin versant était indiqué par la piézométrie (illustration 23) comme ayant des pertes ou des apports,
- mis à zéro lorsque ces bassins étaient indiqués à échange nul.

Les paramètres de calage ainsi retenus ont été ceux :

- Du Py pour les bassins versants de HG3207,
- De la Coole pour HG3208.

Les simulations ainsi obtenus reposent sur le fait que l'on considère que les niveaux piézométriques sont représentatifs du système ou masse d'eau considérée, les débits jaugés ne permettant que d'ajuster les paramètres et d'évaluer grossièrement les valeurs moyennes des débits d'échanges non mesurés.

L'illustration 75 ci-dessous fournit un exemple des simulations pluie-débit-niveau piézométrique obtenus.

A l'aide de ces simulations, la même démarche que celle adoptée pour les bassins versants suivis a été ensuite appliquée :

- Simulation des débits sur la période des données d'entrée (au moins 1980-2011),
- Ajustement suivant une loi racine Gauss des débits moyens mensuels en vue de la détermination des débits mensuels minima annuels de période de retour 5 ans sèche (QMNA5),
- Ajustement, suivant une loi racine Gauss, des volumes écoulés supérieurs au QMNA5, entre les mois de mai à septembre et juin à août, de période de retour 5 ans sèche correspondant au volume disponible 4 années sur 5.

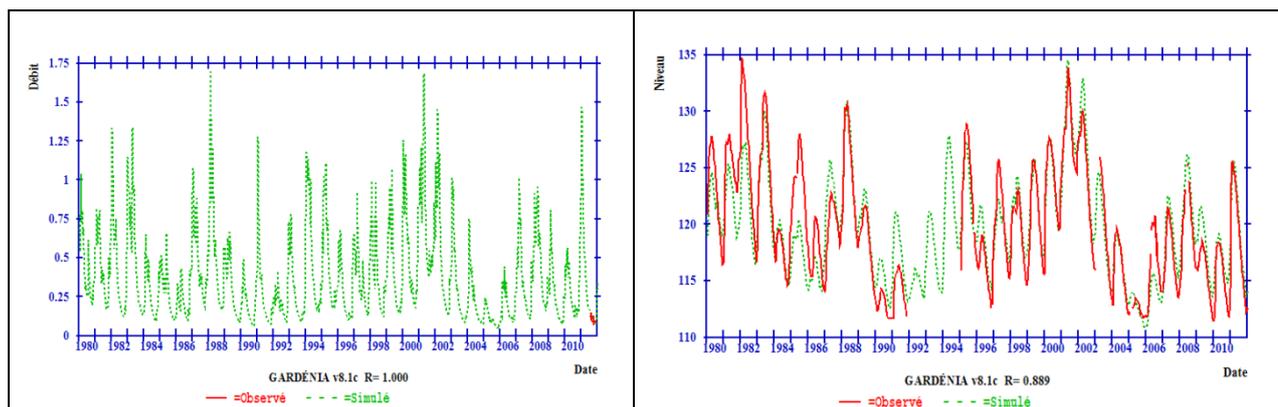


illustration 75 : Exemple de simulation réalisée sur les bassins versants jaugés : masse d'eau HG3208, BV du Fion, piézomètre de Vailly.

L'illustration 77 et l'illustration 79 présentent les résultats ainsi obtenus pour les différents bassins versants jaugés.

Afin d'évaluer les incertitudes possibles, des simulations issues de différents calages dont certains avec des piézomètres différents, ont été réalisés.

5.3.2. Masse d'eau HG3207

Bv_station	QMNA5 Etude (l/s)	Estimation Apports moyens (Mm3)	Estimation volume disponible (Mm3)
Avègres	1*	23	3.5
	2	85	3.9
	3	95	4.7
Indres	1*	85	2.2
	2	80	1.5
	3	90	3.3
Jailly	1*	0	0.9
	2	8	0.7
	3	5	1.0
Saulce	1*	23	0.6
	2	5	1
	3	5	0.9
Tourbe	1	50	2.3
	2	45	3.7

Illustration 76 : Evaluation et incertitudes des QMNA5 et des volumes disponibles (mai à septembre) tous usages des bassins versants jaugés ponctuellement de la masse d'eau HG3207 par modélisation globale.

Les résultats de ces différentes simulations figurent sur l'illustration 76 . Pour la masse d'eau HG3207, les simulations signalées par un * ont été réalisées suite à un calage avec le piézomètre de Fresnes les Reims, les autres avec celui des Grandes Loges.

Par suite de l'absence de courbe piézométrique au droit de cette masse d'eau et de piézomètre représentatif unique, l'évaluation des volumes prélevables paraît, avec le peu de données de jaugeages disponibles, relativement importante. On peut ainsi estimer que ces volumes puissent varier du simple au double (cf. Illustration 76), soit environ plus ou moins 50%. Aussi, en attendant des valeurs mesurées supplémentaires, proposons nous de retenir les volumes minimaux possibles en choisissant de retenir le piézomètre des Grandes Loges comme unique piézomètre représentatif, c'est-à-dire ceux figurant dans l'illustration 77.

Bv _ station	QMNA5 Etude (l/s)	Estimation Apports moyens (Mm3)	Estimation volume disponible (Mm3)
Avègres	85	3.9	1.9
Indres	80	1.5	0.6
Jailly	8	0.7	0.25
Saulce	5	1	0.4
Tourbe	50	2.3	0.7

illustration 77 : Evaluation des QMNA5 et des volumes disponibles tous usages des bassins versants jaugés de la masse d'eau HG3207 au moyen des débits simulés par modélisation globale.

5.3.3. Masse d'eau HG3208

L'étude réalisée sur la masse d'eau HG3208 ayant montrée que le piézomètre de Vailly était représentatif de l'ensemble de la masse d'eau HG3208 (cf. 4.1.3), seule les valeurs obtenues à l'aide de calages réalisés avec ce piézomètre seront fournis. Toutefois afin d'évaluer les incertitudes sur les résultats, plusieurs calages ont été testés. Les résultats de ces différents calages sont récapitulés sur l'illustration 78.

Bv _ station		QMNA5 Etude (l/s)	Estimation Apports moyens (Mm3)	Estimation volume disponible (Mm3)
Fion	1	67	1.45	0.6
	2	74	2.0	0.9
Puits	1	200	9.3	3.5
	2	256	8.6	3.0
	3	270	8.8	3.2
	4	300	8.8	3.25

Illustration 78 : Evaluation des incertitudes sur QMNA5 et sur les volumes disponibles (mai à septembre) tous usages de bassins versants jaugés de la masse d'eau HG3208 par modélisation globale.

Cette illustration permet de constater des incertitudes nettement inférieures à celles obtenues sur la HG3207, soit d'environ la moitié, c'est-à-dire environ plus ou moins 25%. Les valeurs proposées, qui mériteraient toutefois d'être confirmées, sont indiquées dans l'illustration 79.

cours d'eau	QMNA5 Débits simulés	VOLUME		Volume prélèvements autorisés (attribué 2009)	% de mois ou Q=<QMNA5				
		mai à septembre	juin à aout		mai	juin	juillet	août	sept.
Le Fion	0.070	0.9	0.4		0%	3%	5%	5%	10%
La Moivre	0.100	2.8	1.5		0%	0%	5%	5%	8%
Le longsols	0.020	1.5	0.8	0	0%	0%	3%	8%	13%
Le Meldancon	0.030	1.5	0.8	0.76	0%	0%	3%	8%	18%
Le puits	0.250	3.0	1.6	0.62	0%	0%	3%	8%	15%
La somme soude	0.000	5.7	3		5%	7%	9%	9%	23%
La Somme	0.006	2.7	1.4		0%	5%	7%	9%	12%

illustration 79 : Evaluation des QMNA5 et des volumes disponibles tous usages des bassins versants jaugés de la masse d'eau HG3208 au moyen des débits simulés par modélisation globale.

5.4. CONCLUSION

Les deux méthodes utilisées pour évaluer les QMNA5 des bassins versants jaugés lors de l'été 2011, fournissent des valeurs très voisines qui peuvent donc, en première approximation, servir de base à une évaluation provisoire des ressources ou volumes disponibles. Les modélisations réalisées sur ces bassins sont à confirmer. L'incertitude estimée sur les résultats est importante pour les bassins versants de la masse d'eau HG3207 (+/- 50%) et de moitié pour les bassins versants de la masse d'eau HG3208. Ces incertitudes pourraient probablement être réduites à l'aide de nouveaux jaugeages volants d'étiage.

Nota Bene : Les évaluations de certains bassins versants n'ont pas été conduites pour les raisons suivantes :

- *Le bassin versant de la Superbe, constitué des bassins versants de la Maurienne de la Vaure et adjacent au bassin versant du Salon, semble comporter de nombreux écoulements et/ou échanges interbassins non mesurés qui rendent particulièrement délicat toute décomposition de ces débits d'étiage,*
- *Le Bassin versant de la Guenelle semble, d'après le MNT, comporter plusieurs exutoires au droit de la limite de la partie craie de ce bassin,*
- *Quant au bassin versant du Ru des Barres, il se situe, même s'il appartient à la masse d'eau HG3207, en rive droite de l'Aisne or aucune modélisation n'a pu être réalisée de ce côté de l'Aisne,*
- *Par ailleurs, lors de la deuxième tournée de jaugeages ponctuels un débit nul a été observé au droit de trois de ces bassins versants (l'Indre, le Ravet et la Guenelle). Cette information, même si elle est utile, ne permet pas d'évaluer la décroissance des débits et donc de s'appuyer sur ces jaugeages pour une tentative de modélisation.*

Il ne paraît donc pas envisageable de proposer, en l'état actuel de nos connaissances, une estimation des volumes potentiellement prélevables au droit de ces bassins versants.

6. Extrapolation des résultats des bassins versants jaugés aux bassins versants non jaugés

6.1. PREAMBULE

La réalisation de ce point implique de trouver les paramètres caractéristiques explicitant les différences de fonctionnement et la différence des débits d'étiage. En première analyse, des tests ont été réalisés en considérant comme paramètre prépondérant le débit spécifique issu du QMNA5 fourni par la banque HYDRO. A l'aide d'un SIG, l'influence d'autres paramètres tels que l'IDPR, l'encaissement, l'épaisseur de la ZNS, et la rugosité sera testée sur les bassins versants jaugés. Il s'agira donc de trouver une ou plusieurs corrélations entre ces différents paramètres. Pour cette raison il est apparu nécessaire de réaliser cette analyse avec le maximum de points de mesures et donc de traiter simultanément les bassins versants de la région Champagne-Ardenne et les bassins versants de la région Bourgogne.

Paramètres recherchés

Les différents paramètres et données présentées et définies dans les paragraphes précédents (courbes isopièzes, IDPR, Rugosité) vont être utilisés afin d'essayer d'étendre, par le biais de corrélation, les résultats obtenus sur les bassins jaugés à la totalité des bassins versants de la craie. On essayera notamment de définir pour chacun des bassins versants :

- La pluie efficace
- La recharge moyenne,
- Le ruissellement moyen,
- Le débit mensuel minimum de période de retour 5 ans (QMNA5).

6.2. CORRELATIONS REALISEES

6.2.1. Pluie efficace

Pour déterminer la pluie efficace moyenne annuelle de l'ensemble des bassins versants de la craie de la région Champagne-Ardenne, il a été procédé à

a) Deux corrélations entre la pluie efficace moyenne annuelle calculée par simulation sur les bassins versants jaugés et la pluie reçue par ces mêmes bassins sur la période 1980-2011. La famille 1 (cf. illustration 80), correspond à la grande majorité des stations de HG3207, HG3208 et HG3209 avec :

$$P_{eff} = 0.562 P - 215$$

La famille 2 (cf. illustration 80), correspond aux stations de HG3210 augmentée des stations Petit Morin, Vesle Retourne et Suipe aval ainsi que la Superbe, c'est-à-dire avec les stations ayant les bassins versants situés à l'ouest de la zone d'étude. La relation est alors de la forme :

$$P_{eff} = 1.02 P - 626.$$

Seule la station de la Suipe à Orainville semble appartenir à la famille 1.

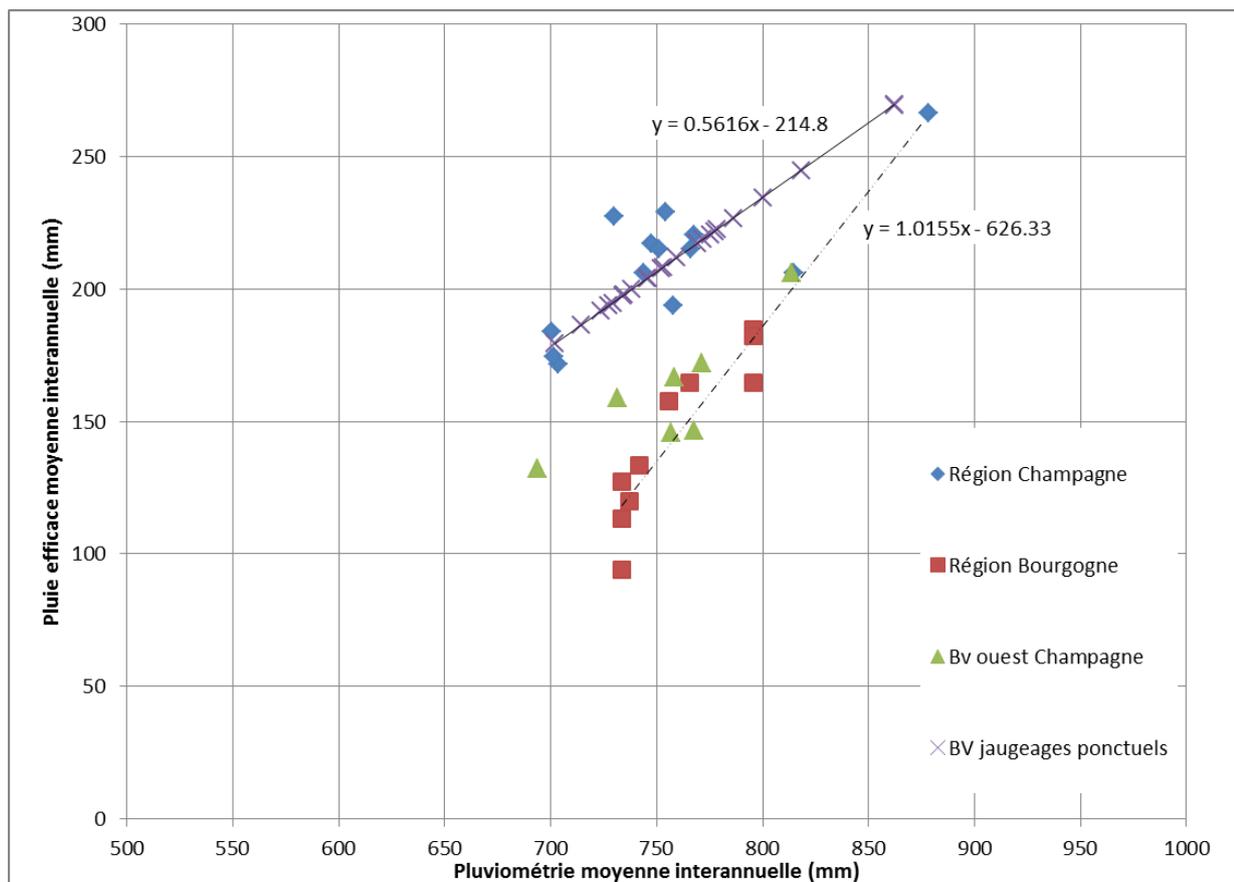


illustration 80 : Corrélation pluie-pluie efficace au droit des stations suivies

Pour l'extension aux bassins versants non jaugés, la pluie efficace sera définie par :

- $P_{eff} = 0.5616 P_{aurelhy} - 214.8$, pour les bassins versants de Champagne-Ardenne et ceux de bourgogne de la masse d'eau HG3209,
- $P_{eff} = 1.02 P_{aurelhy} - 626$, pour les bassins versants de Bourgogne de la masse d'eau HG3210 ainsi que les bassins versants situés à l'ouest de la zone d'étude.

b) Une évaluation réalisée en considérant par masse d'eau :

- la pluviométrie Aurelhy sur la période 1980-2010,
- une perte par évapotranspiration (ETR) définie par masse d'eau au moyen de l'ETP moyenne de chaque masse d'eau (moyenne des ETP des différents bassins suivis) en considérant un taux de satisfaction moyen de 80% (moyenne du taux de satisfaction des demandes d'ETP par bassins versants suivis).

Ces hypothèses conduisent aux valeurs figurant dans le tableau ci-après (illustration 81).

Masse d'eau	Valeurs moyennes obtenues au droit des bassins versants suivis			Valeurs retenues (mm)	
	ETP (mm)	ETR (mm)	Taux de satisfaction (%)	ETP (mm)	ETR (mm)
HG3207	682	575	84	680	545
HG3208	696	562	81	695	555
HG3209	692	552	80	695	555
HG3210	758	602	79	750	600

illustration 81 : Evaluation moyenne par masse d'eau des pertes par évapotranspiration réelle (mm)

La pluie efficace pour chaque bassin est obtenue en soustrayant l'ETR de la masse d'eau (illustration 81, colonne de droite) à la pluie Aurelhy du bassin considéré.

Ces deux évaluations permettent de fournir un intervalle de variation plausible et sécuritaire pour les valeurs de pluies efficaces au droit des différents bassins versants non suivis.

Sur l'illustration 82, on constate que les différences, qui ne concernent pas les bassins versants suivis, sont peu marquées. Elles se résument, sur la figure de droite, à une légère diminution pour quelques bassins versants des masses d'eau HG3208 (env. 10%) et à de légères augmentations pour quelques bassins versants de la masse d'eau HG3207 (env. 10%). Par contre, l'évaluation par utilisation de l'ETP moyenne conduit à une forte diminution de la pluie efficace sur la masse d'eau HG3210 (env. 30%). Par suite de la méthode employée ces écarts vont se retrouver sur l'évaluation de la recharge et du ruissellement.

Comparaison avec évaluation de Météo France

L'illustration 83 permet de comparer les valeurs de pluies efficaces estimées :

- à gauche, au moyen de la corrélation (bassins versants non jaugés) et des simulations (bassins versants suivis),
- à droite, par Météo France à l'échelle nationale avec une valeur estimée par maille SAFRAN (8km x 8km).

Si les résultats obtenus par ces deux méthodes se situent dans les mêmes gammes de valeurs, les corrélations ne sont pas très bonnes, avec quelques écarts significatifs notamment pour la masse d'eau HG3210. On notera toutefois que cette corrélation est encore plus dégradée au droit des stations suivies.

Connaissance des ressources réellement disponibles sur l'ensemble des bassins versants crayeux
 Bassin Seine-Normandie en Champagne-Ardenne

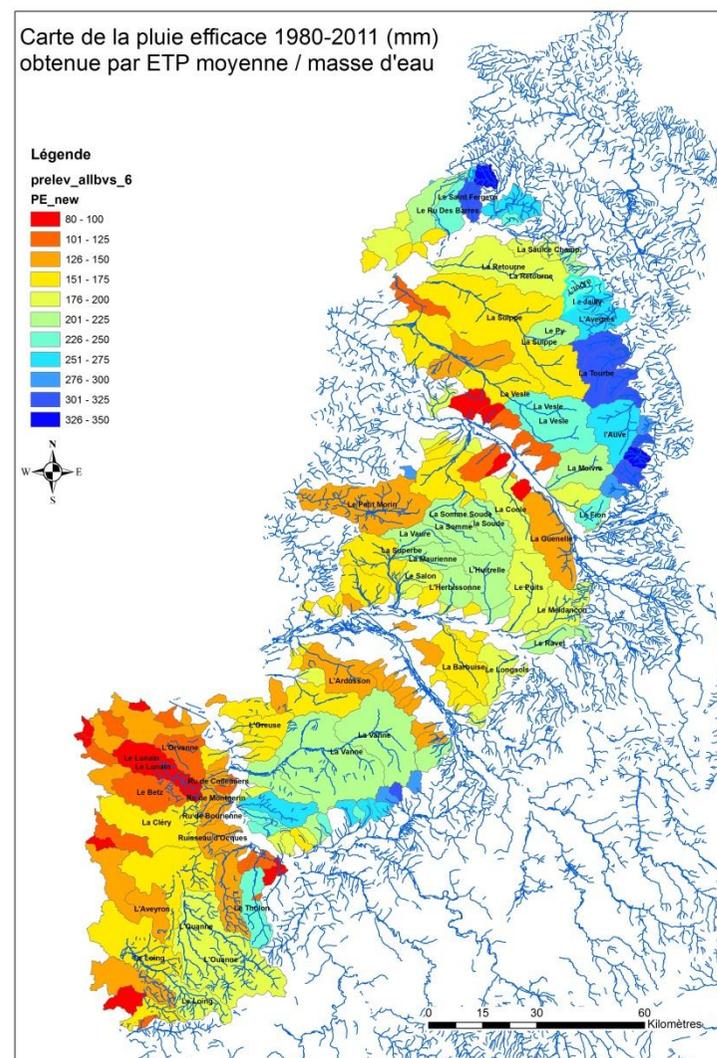
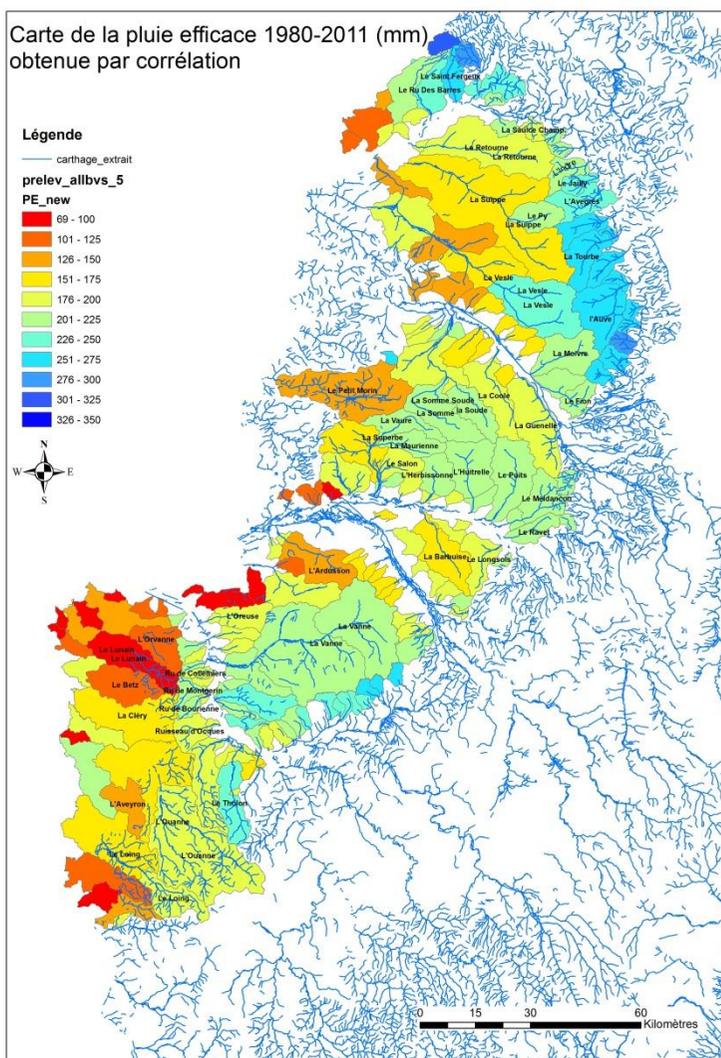


illustration 82 : Pluies efficaces moyennes annuelles calculées par corrélations (à gauche) et calculées par valeur moyenne de l'ETP et du taux de satisfaction de l'ETR (à droite) sur la période 1980-2011.

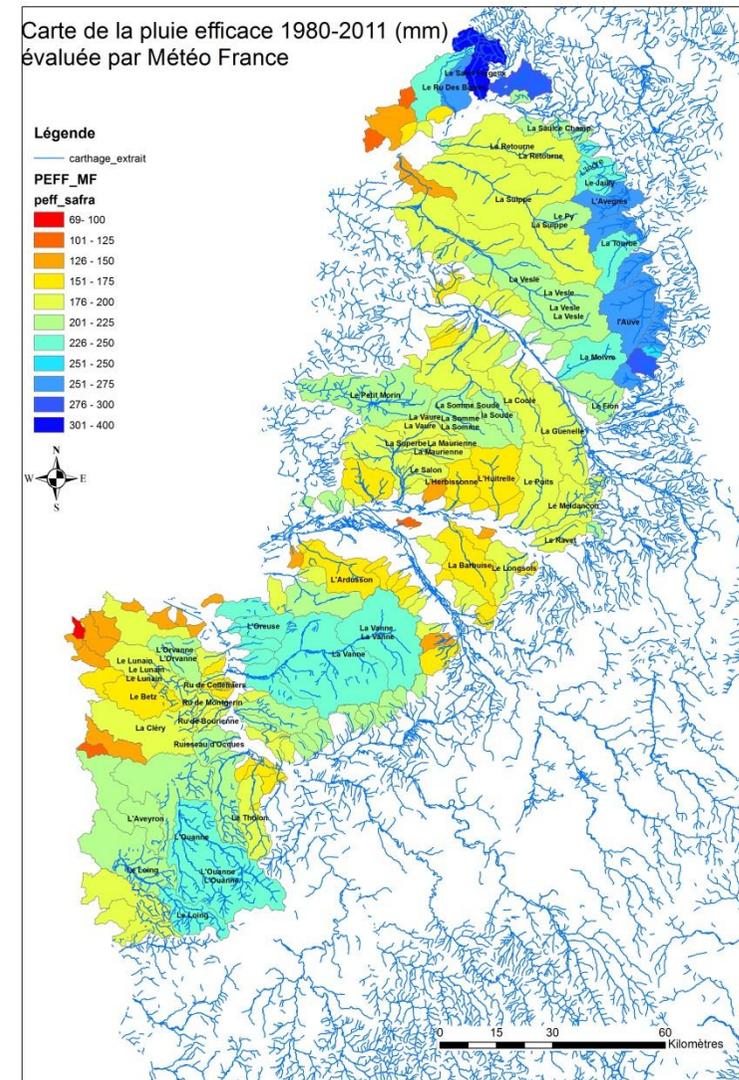
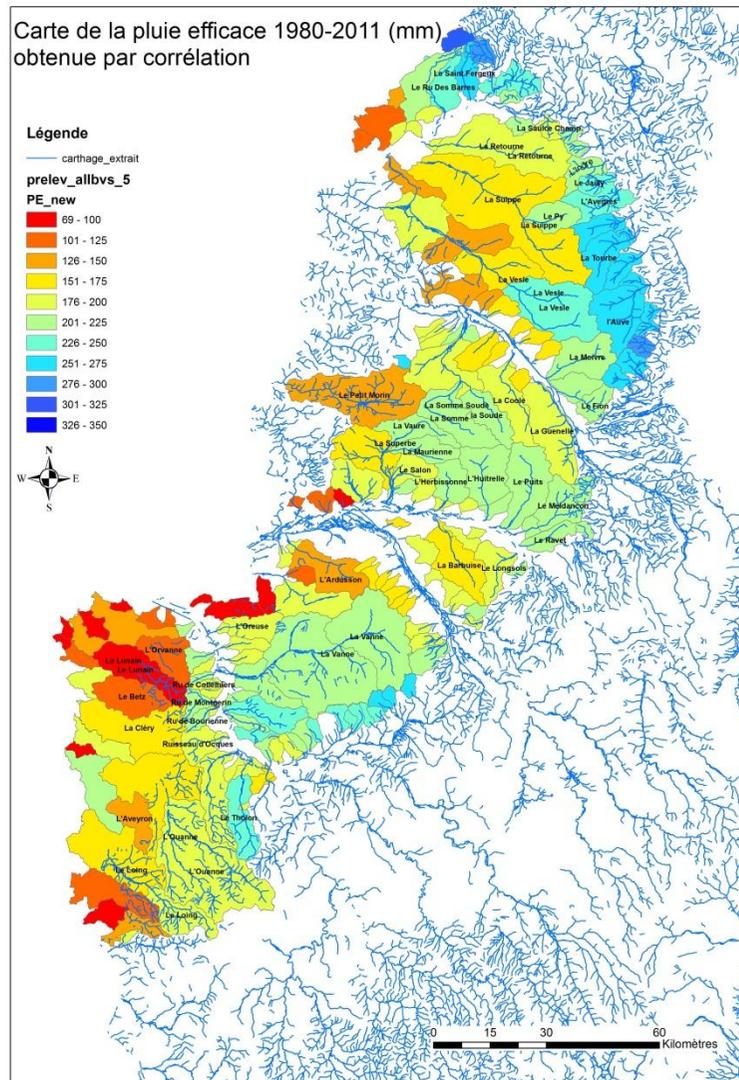


illustration 83 : Pluies efficaces moyennes annuelles calculées par corrélations (à gauche) et par Météo France (à droite) sur la période 1980-2011

6.2.2. Ruissellement et Recharge

A partir de la pluie efficace ainsi calculée, la répartition ruissellement – infiltration (recharge) a été déterminée au moyen de l'IDPR (cf. illustration 26). L'illustration 84 et l'illustration 85 fournissent les valeurs de ruissellement et de recharge calculées :

- A gauche : par utilisation de l'IDPR et de la pluie efficace moyenne pour les bassins versants non suivis et par modélisation pour les bassins versants suivis,
- A droite par météo France à l'échelle nationale (mailles SAFRAN de 8km X 8 km).

De même que pour la pluie efficace, on note des différences sensibles sur les résultats obtenus. Toutefois, hormis pour certains bassins de la masse d'eau HG3210, les différences sont généralement de l'ordre d'une classe de valeur. Par ailleurs, il convient de signaler que les valeurs estimées au droit des bassins versants suivis sont obtenues à partir de bilans mesurés et reflètent donc bien la réalité mesurée.

6.2.3. Débits d'étiages : QMNA5

L'analyse des débits d'étiage par le biais de la lame ruisselée correspondant au QMNA5 ne montre pas de corrélation directe entre ce débit et le paramètre de rugosité au droit des stations suivies (illustration 86).

Toutefois, ce graphique a tendance à montrer une, voire 2, relation de limite supérieure aux valeurs de LRQMNA5 :

- une pour les masses d'eau HG3207 à HG3209, définie par la droite tracée,
- une pour la masse d'eau HG3210, qui pourrait être définie par une droite parallèle à la précédente.

Les points se situeraient « sous la droite » par suite des débits d'échanges et/ou de sous-écoulement non mesurés à la station. Suivant cette hypothèse, qui mériterait d'être validée, il paraît donc possible de fournir une évaluation de la borne maximale du débit moyen mensuel maximal de période de retour 5 ans.

Ces échanges interbassins et les sous-écoulements au droit des stations n'étant pas, a priori, constants, il paraît impossible de préciser, en l'état actuel des connaissances, les débits mensuels quinquennaux de période de retour 5 ans. Il paraît ainsi nécessaire de posséder, au minimum, quelques valeurs de jaugeages pour envisager une évaluation.

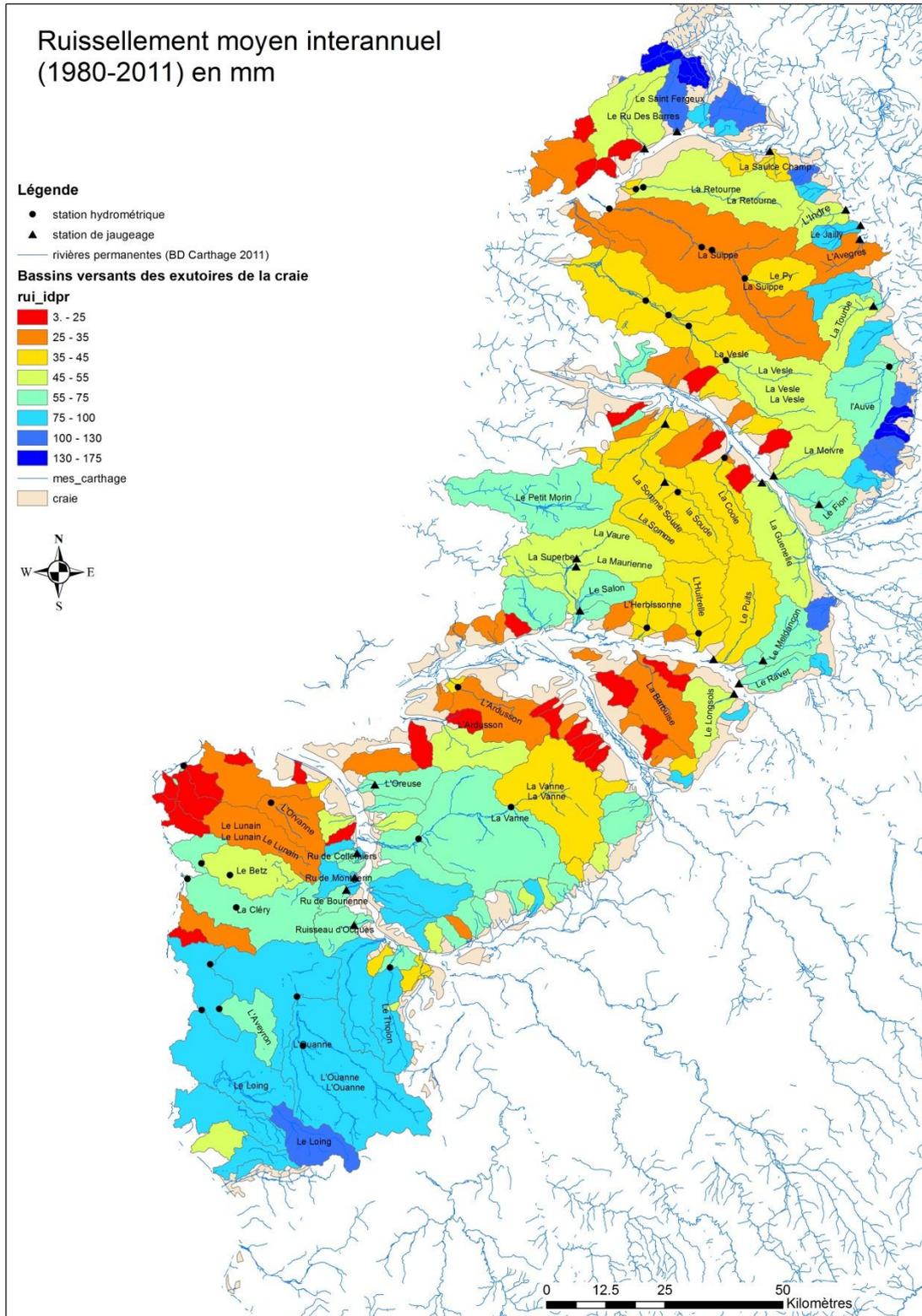


illustration 84 : Ruissellement moyen calculé à partir de la pluie efficace et de l'IDPR sur les bassins versants de la craie sur la période 1980-2011.

Connaissance des ressources réellement disponibles sur l'ensemble des bassins versants crayeux
 Bassin Seine-Normandie en Champagne-Ardenne

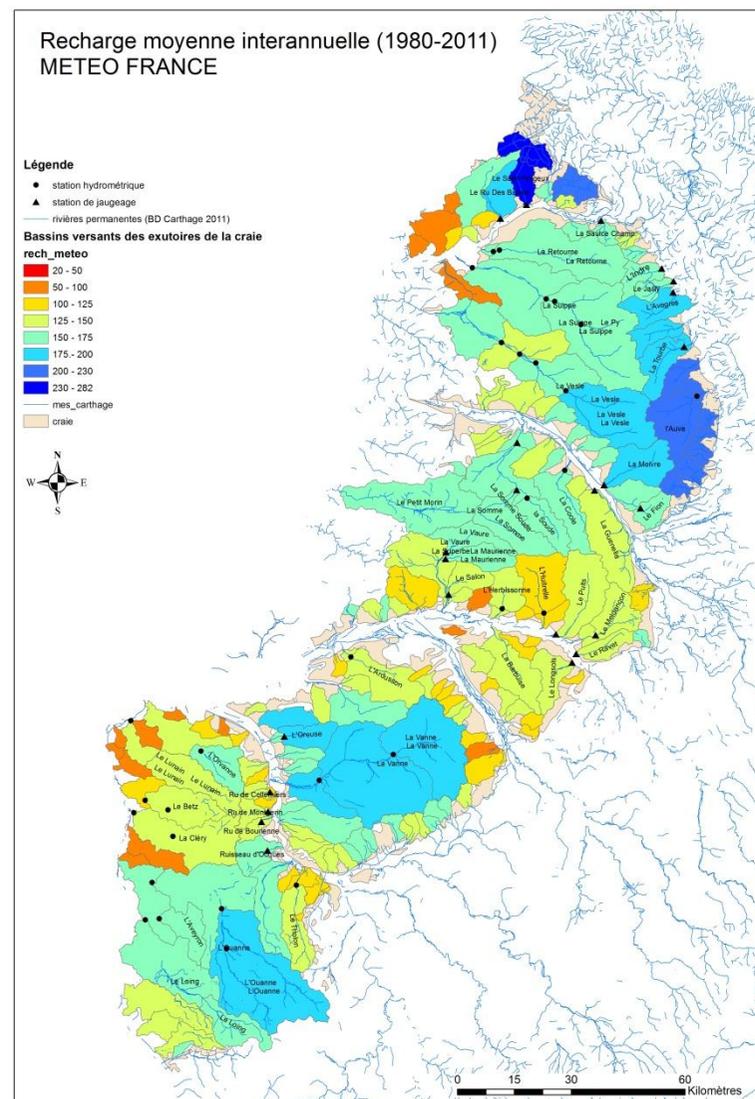
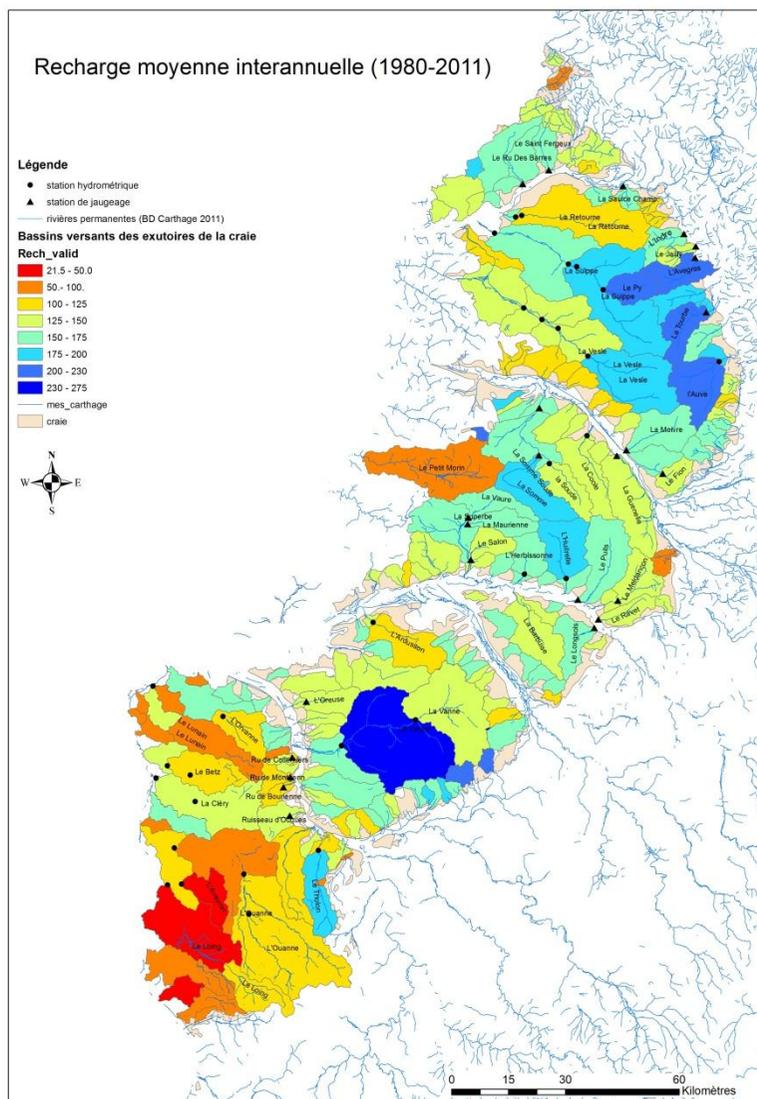


illustration 85 : Recharge moyenne calculée à partir de la pluie efficace et de l'IDPR (gauche) et infiltration moyenne calculée par météo France (mailles SAFRAN) sur les bassins versants de la craie sur la période 1980-2011.

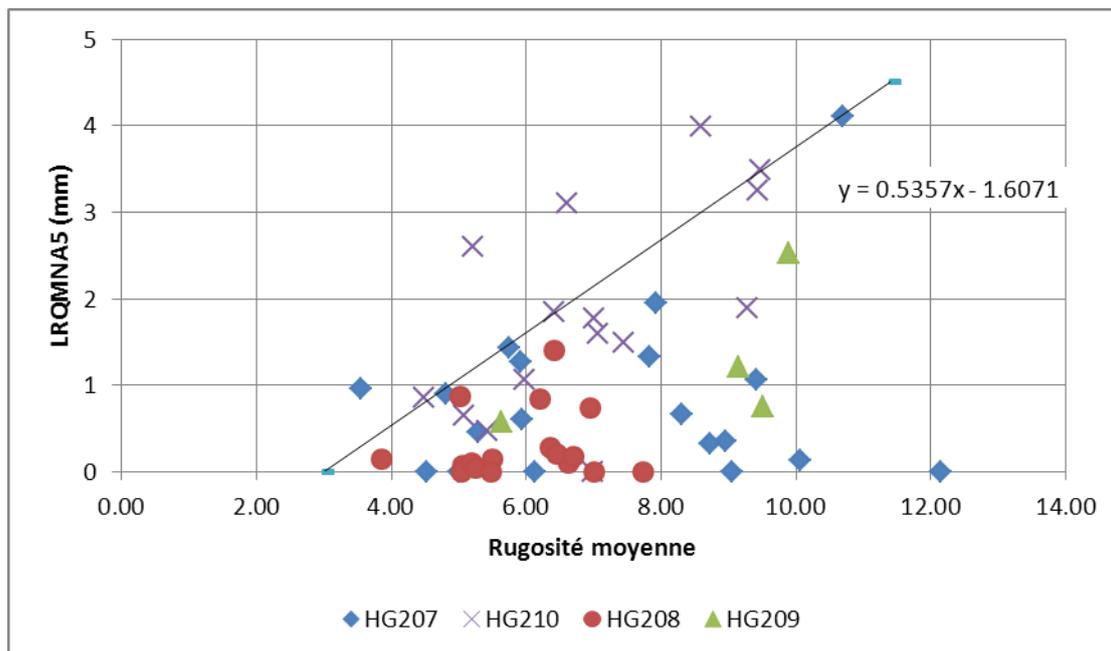


illustration 86 : Corrélations entre LRQMNA5 et Rugosité

L'illustration 89 et l'illustration 89 présentent toutefois les résultats obtenus au paragraphe 1 avec les bassins versants suivis.

6.2.4. Evaluation des volumes disponibles

De même que pour le paragraphe précédent, et ce pour les mêmes raisons, il n'a pas été possible de trouver une relation permettant d'étendre les résultats obtenus au droit des bassins versants suivis à l'ensemble des bassins de la craie.

L'illustration 87 présente les valeurs de volumes disponibles en trois (gauche) et cinq (droite) mois obtenus en au droit des stations suivies.

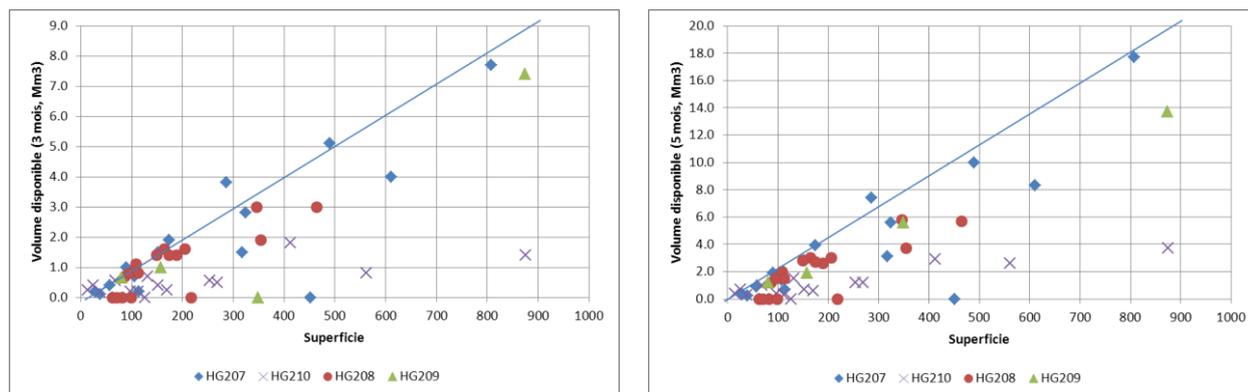


illustration 87 : Valeurs de volumes disponibles en trois (gauche) et cinq (droite) mois obtenus quatre années sur 5 au droit des stations suivies en fonction de la superficie des bassins versants (km²)

A l'aide de ces graphiques il est malgré tout possible, semble-t-il, d'estimer les valeurs maximales des volumes disponibles. Ainsi l'on peut considérer que dans le cas le plus favorable, c'est-à-dire dans le cas d'un bassin versant où les débits sont totalement contrôlés par l'exutoire, on puisse envisager un volume disponible maximal de 22.5 mm/ m² de bassin versant entre mai et septembre et 10 mm/m² entre juin et août. L'illustration 92 et l'illustration 91 présentent les résultats obtenus aux paragraphes 3.5 et 5.3 avec les bassins versants suivis ou jaugés qui représentent environ 75% des bassins versants sélectionnés. Le tableau ci-dessous (illustration 88) récapitule ces « volumes disponibles » pour les différentes masses d'eau.

Masse d'eau	3 mois (juin à août)	5 mois (mai à septembre)
HG3207	19.5	42.0
HG3208	17.6	33.5
HG3209	9.1	16.8
HG3210	7.1	14.3
Total	53	107

illustration 88 : Volumes disponibles (Mm³) par masse d'eau quatre années sur cinq au droit des stations actuellement suivies au moins ponctuellement.

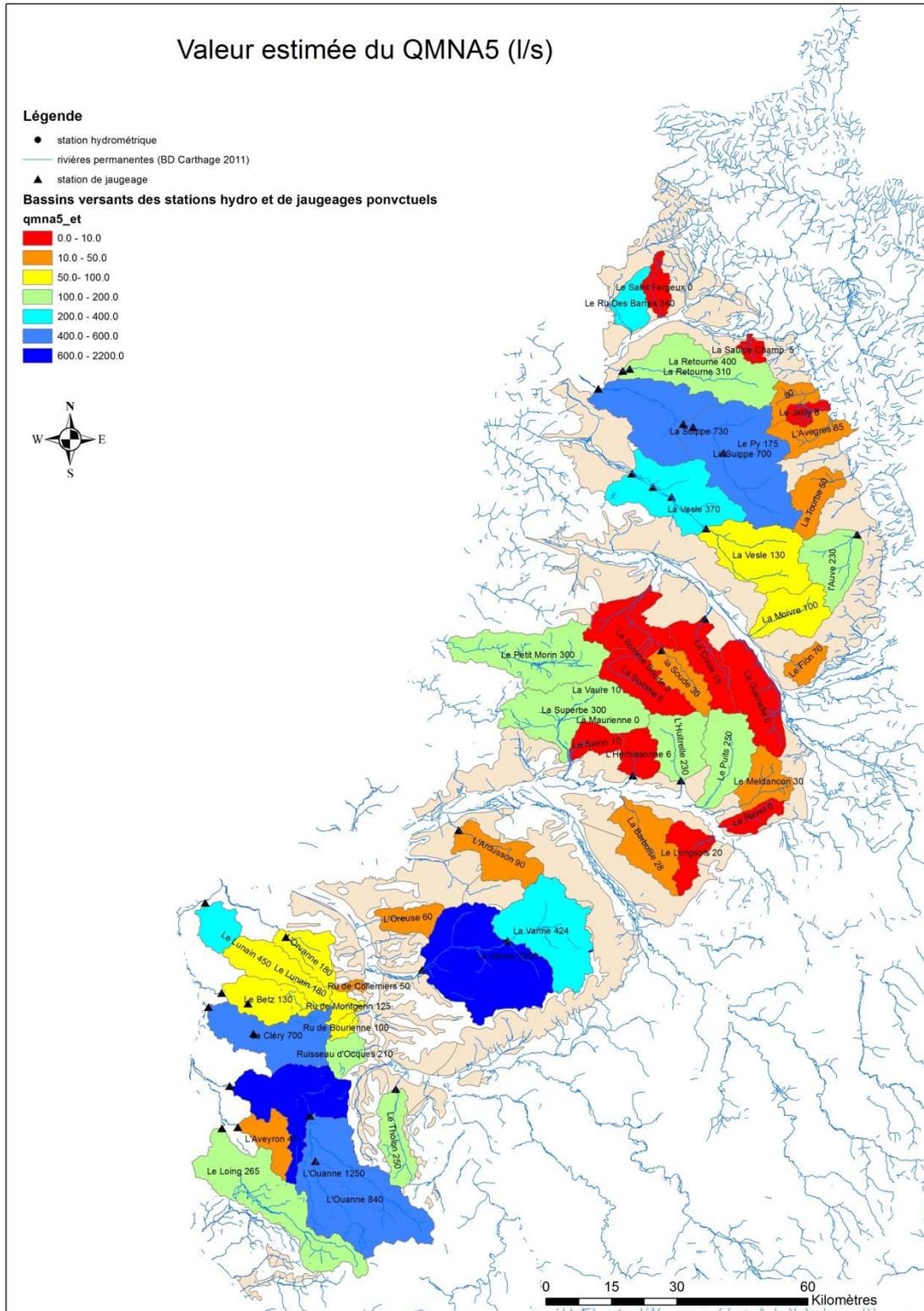


illustration 89 : Evaluation du QMNA5 au droit des stations suivies au moins ponctuellement.

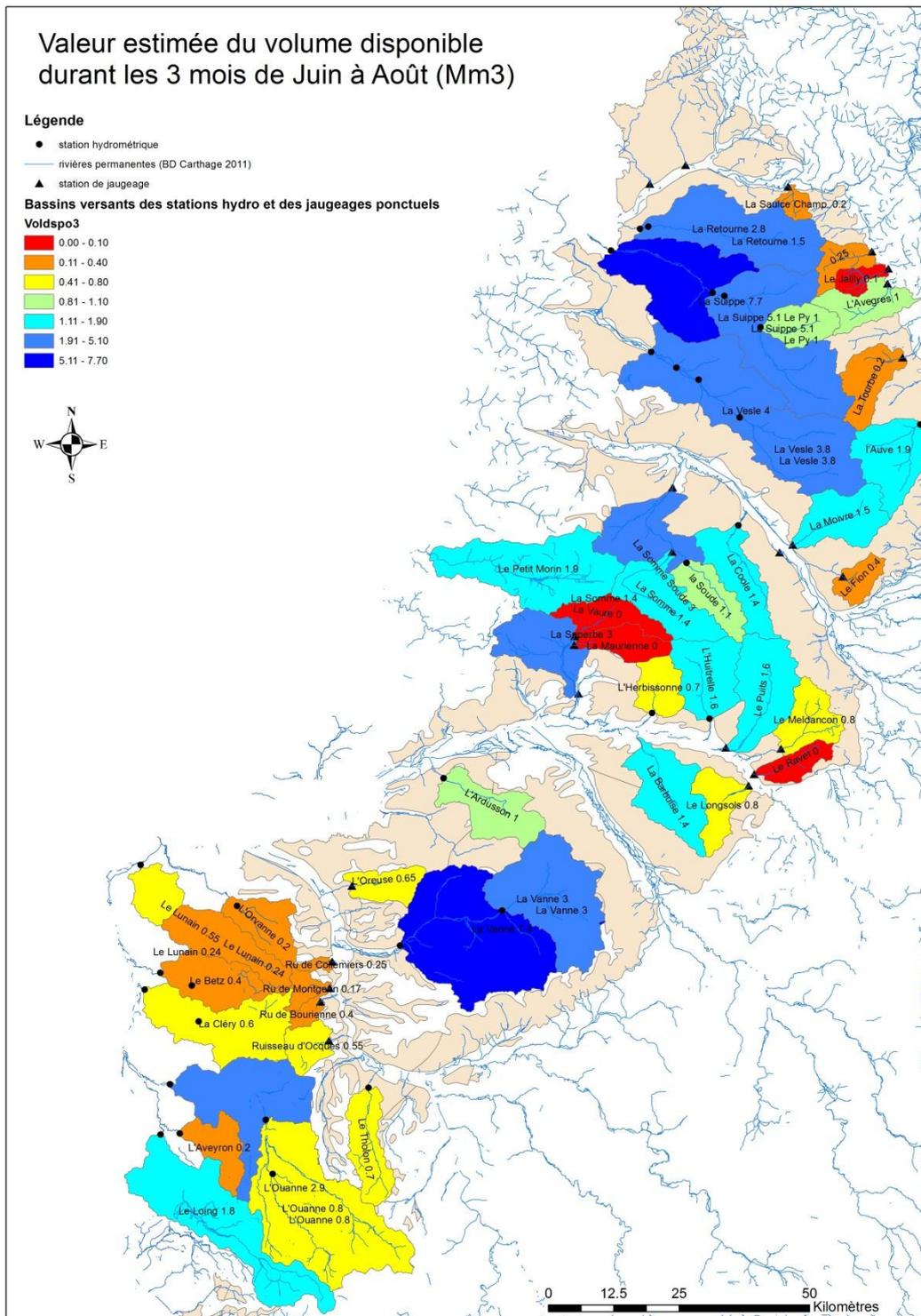


illustration 91 : Valeur du volume disponible quatre années sur 5 durant les mois de juin à Août au droit des bassins versants suivis au moins ponctuellement.

7. Prélèvements

Afin de préciser la pression des prélèvements sur la ressource il a été réalisé des cartes présentant :

- la répartition par bassin versant des volumes moyens annuels prélevés sur les périodes de données fournies (illustration 95),
- la répartition par bassin versant des volumes moyens annuels prélevés pour l'irrigation sur les périodes de données fournies (illustration 96),
- la pression des prélèvements annuels, illustration 97, en indiquant le ratio des prélèvements moyens annuels totaux par rapport à la recharge moyenne ;
- la pression des prélèvements agricoles annuels, illustration 98 à gauche, en indiquant le ratio des prélèvements moyens annuels totaux par rapport à la recharge moyenne ;
- la pression mensuelle des prélèvements durant les basses eaux, illustration 98 à droite, en reportant par bassin versant le ratio des prélèvements moyens maximums mensuels (prélèvements AEP et industriels constants sur 12 mois et prélèvements pour l'irrigation constants sur 4 mois) par rapport au QMNA5.

L'illustration 93 et l'illustration 94 récapitulent par masse d'eau les volumes ressources et les volumes prélevés.

On constate d'après ce tableau que globalement les deux estimations des ressources disponibles et des recharges sont assez proches.

Masse d'eau	Volume en Millions de m3							
	apports (pluie efficace)		recharge		Prélèvements		taux de prélèvements/ Recharge	
	étude	Météo France	étude	Météo France	Totaux	Irrigation	Totaux	Irrigation
HG3207	632	662	471	503	30.2	2.0	6.4%	0.4%
HG3208	639	609	482	471	19.3	11.1	4.0%	2.3%
HG3209	440	454	324	343	33.6	3.6	10.4%	1.1%

illustration 93 : Bilan des volumes des ressources et des prélèvements annuels au droit des différentes masses d'eau.

A l'échelle des masses d'eau souterraine, les prélèvements même s'ils sont conséquents ne sont pas globalement très élevés mais ils peuvent être importants localement. Même les débits prélevés durant les étiages ne paraissent pas excessifs, toutefois **il convient de rappeler que par suite du manque de connaissance des données de prélèvement il n'a pas été possible de quantifier l'impact de ceux-ci sur les débits d'étiage. Au stade actuel de cette connaissance il a été admis que les quantités prélevées se déduisaient directement (sans retard) sur les débits mesurés aux stations hydrométriques.** Cela revient à considérer que les prélèvements s'effectuent à proximité du cours d'eau, vision optimiste de la situation avec un étiage survenant après la période d'irrigation.

Masse d'eau	Volumes disponibles (Mm ³)		Prélèvements moyens (Mm ³)	
	3 mois (juin à août)	5 mois (mai à septembre)	Totaux (sur 12 mois)	Irrigation
HG3207	19.5	42.0	11.9	2.0
HG3208	17.6	33.5	18.0	9.3
HG3209	9.1	16.8	18.4	1.3
Total	46.2	92.3	48.3	12.6

illustration 94 : Comparaison des volumes disponibles et des volumes moyens prélevés au droit des bassins versants suivis au moins ponctuellement durant les mois d'étiage.

Si l'on tient compte du fait que les prélèvements hors irrigation se répartissent globalement sur 12 mois, les volumes disponibles sont globalement suffisants pour satisfaire les volumes moyens actuels au moins quatre années sur 5.

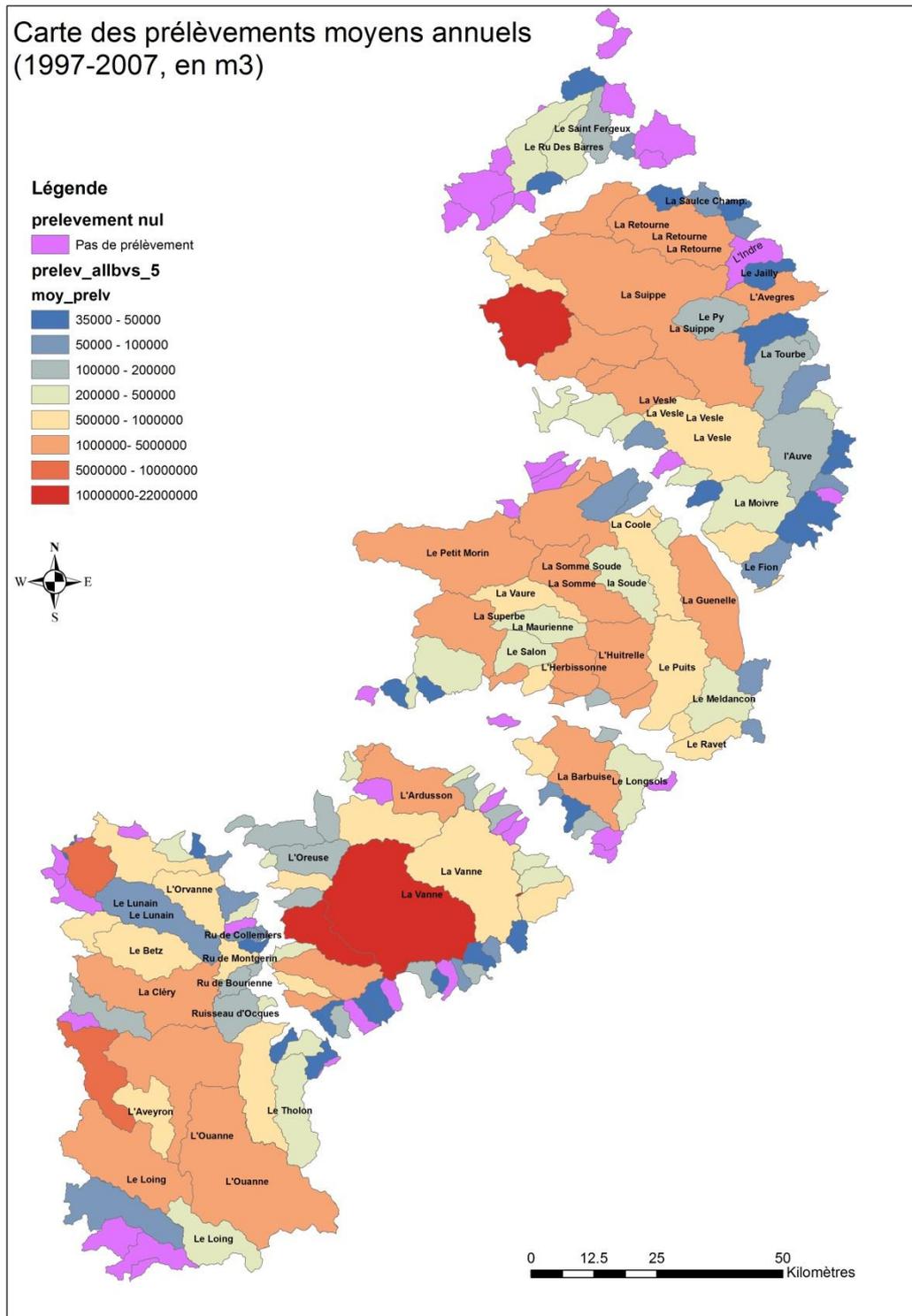


illustration 95 : Répartition par bassin versant des volumes prélevés moyens annuels.

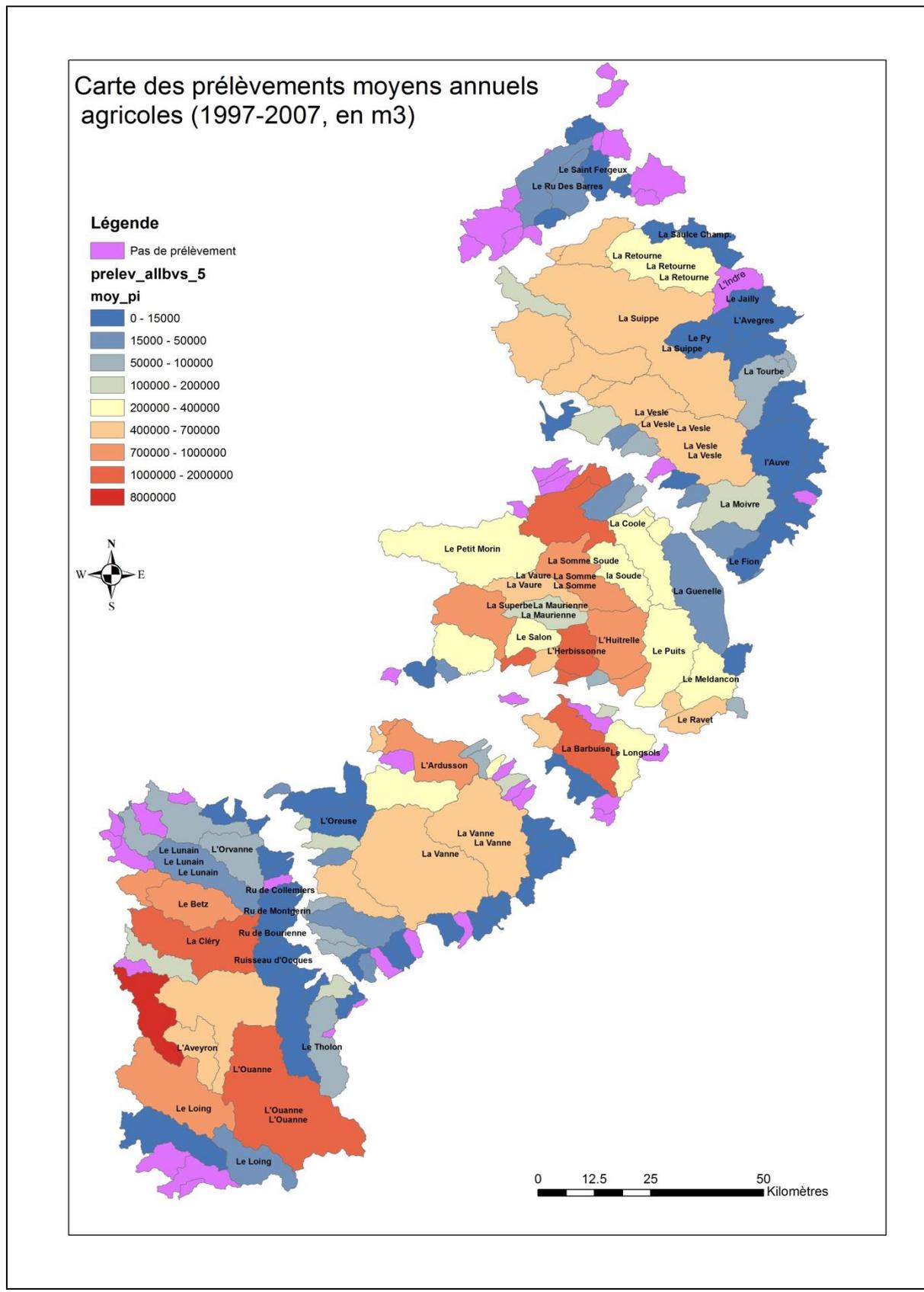


illustration 96 : Répartitions par bassin versant des volumes moyens annuels prélevés pour l'irrigation.

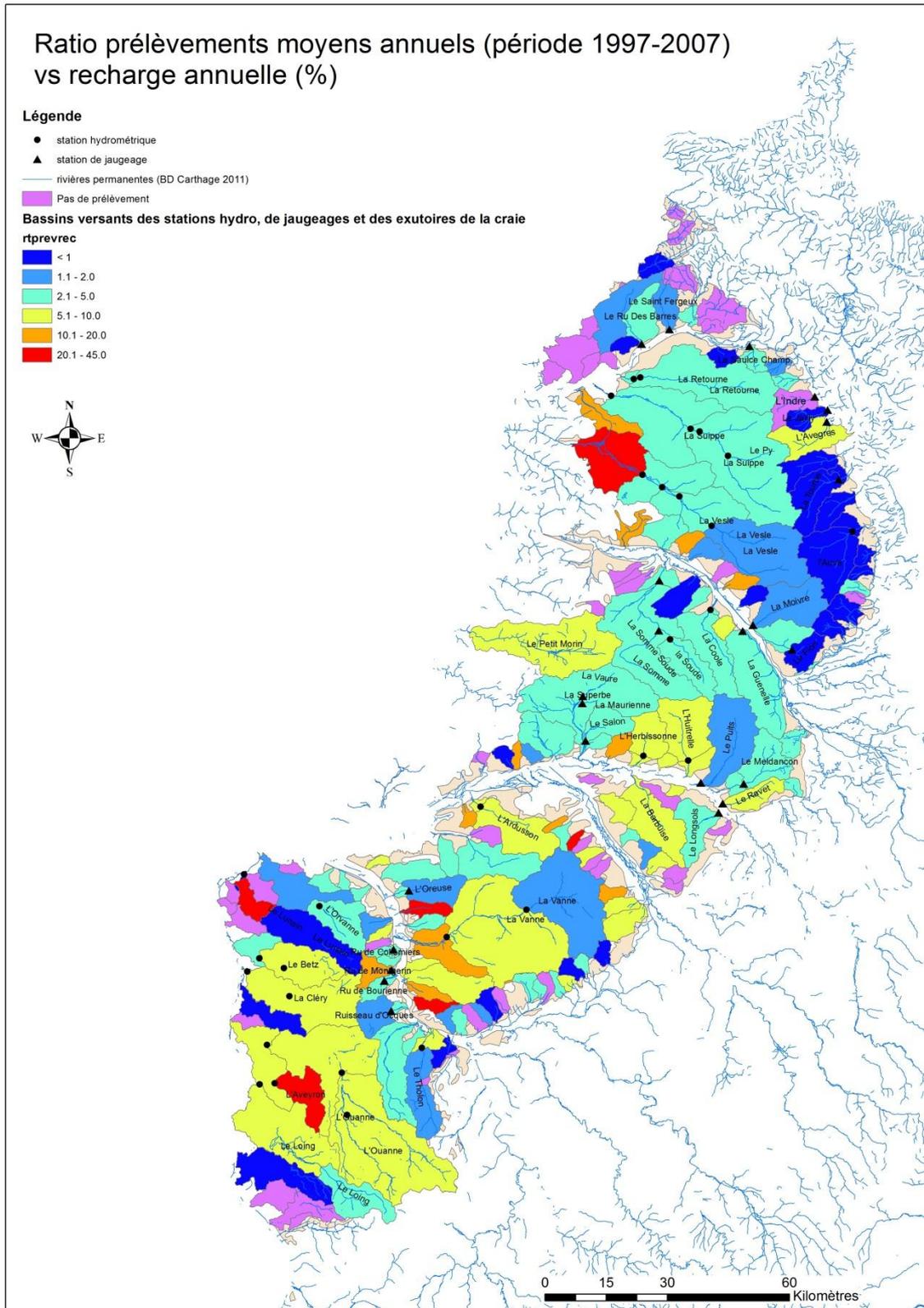


illustration 97 : Pressions des prélèvements : ratio des prélèvements moyens annuels totaux par rapport à la recharge moyenne

Connaissance des ressources réellement disponibles sur l'ensemble des bassins versants crayeux
 Bassin Seine-Normandie en Champagne-Ardenne

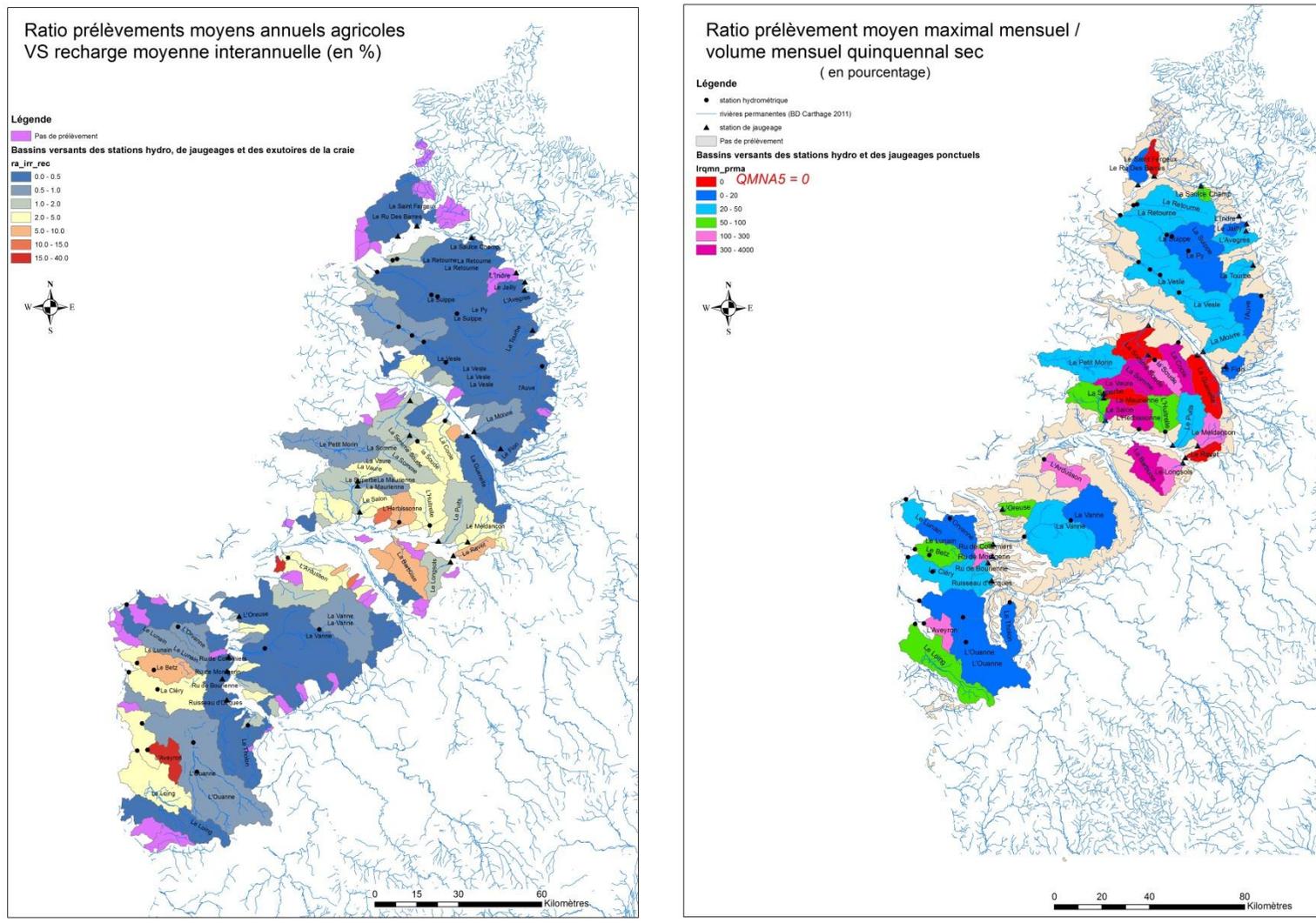


illustration 98 : Pressions des prélèvements : à gauche : ratio des prélèvements moyens annuels agricoles par rapport à la recharge moyenne ;
 A droite : ratio des prélèvements moyens maximums mensuels par rapport au QMNA5

8. Conclusions

Cette étude, qui a porté sur les 4 masses d'eau régionale de la craie couvrant une superficie d'environ 11250 km², a permis :

- de préciser le fonctionnement des aquifères de la craie de Champagne-Ardenne ;
- de montrer que les débits de l'année précédente influent directement sur les potentialités de débits prélevables de l'année suivante ;
- de vérifier la possibilité de prévision des débits d'étiage à venir par le biais d'indicateurs piézométriques et/ou de modélisations globales ;
- d'estimer les débits mensuels d'étiage de fréquence quinquennale au droit de tous les bassins versants de la craie ayant au moins quelques jaugeages soit au droit de 55 bassins versants couvrant une superficie d'environ 8400 km², bien que certains résultats nécessitent d'être confirmés ;
- d'estimer les volumes considérés comme « potentiellement disponibles » c'est-à-dire les volumes correspondant aux débits supérieurs au QMNA5, quatre années sur 5 pour les mois de mai à septembre et de juin à août au droit de ces mêmes bassins ;
- d'estimer les ressources en eau renouvelables de la totalité des bassins versants par le biais de la pluie efficace reçue et de l'évaluation de la recharge ;
- de mettre en évidence les taux de prélèvements qui sont quelquefois significatifs voire même dans certains bassins un peu trop importants mais qui pourraient alors être annuellement ajustés en fonction des réserves actualisées.

Les résultats obtenus dans cette étude semblent, pour certains bassins, différents de ceux fournis lors des études antérieures (études TEMPO 2006 et 2009, cf. bibliographie). Cela provient principalement du fait que les hypothèses et options de calcul utilisées lors de ces études étaient différentes, on peut notamment relever :

- une période de calage différente,
- la prise en compte de débit de transfert interbassins suite à la réalisation de la campagne piézométrique,
- des QMNA5 différents car intégrant les débits prélevés (sans décalage temporel),
- une période de prélèvement et une répartition des volumes prélevés différentes,
- une fréquence de référence différente : satisfaction des besoins quatre années sur 5 au lieu de trois années sur quatre (étude Tempo 2009),
- enfin, les volumes indiqués incluent ici les prélèvements EI et AEP, contrairement aux études TEMPO de 2006 et 2009.

Les incertitudes des valeurs calculées paraissent très difficiles voire impossible à quantifier dans la mesure où elles dépendent de l'ensemble de la chaîne c'est-à-dire des mesures jusqu'à la modélisation et ce dans des systèmes probablement non homogènes. Les différentes analyses et modélisations réalisées montrent toutefois que ces incertitudes sont globalement différentes suivant la quantité et qualité des données ainsi que le paramètre évalué. On peut ainsi supposer qu'elles sont globalement :

- plus restreintes pour l'évaluation du QMNA5 que pour l'évaluation des volumes disponibles ;
- relativement faibles au droit des stations hydrométriques,
- intermédiaires au droit des points de jaugeages ponctuels de la masse d'eau HG3208 par suite du comportement homogène de cette masse d'eau,

- significatives au droit des points de jaugeages des masses d'eau HG3207 et HG3209.

Les incertitudes sur les ressources potentielles et sur les débits potentiellement prélevables pourraient être réduites à l'aide des modèles réalisés et de mesures complémentaires. Ces mesures sont de types et de coûts différents. Il s'agirait notamment, par ordre d'importance décroissante, de :

- réaliser des campagnes de jaugeages d'étiage (au moins 2 voire 3 par an) durant la période d'étiage (absence de pluie) au droit des bassins versants non suivis les plus prometteurs ;
- réaliser une piézométrie de « hautes ou moyennes eaux » afin de préciser la variation de la superficie des bassins versants souterrains ;
- mieux connaître les volumes et la répartition spatiale et surtout temporelle des prélèvements significatifs.

9. Bibliographie

[1] Aquifères et Eaux souterraines, mars 2006, édition BRGM

[2] Quantifying Landscape Ruggedness for Animal Habitat

Analysis: A Case Study Using Bighorn Sheep in the Mojave Desert J. MARK SAPPINGTON,1,2
Department of Biological Sciences, 4505 Maryland Parkway, University of Nevada Las Vegas,
Las Vegas, NV 89154-4004,

USA ; KATHLEEN M. LONGSHORE, United States Geological Survey, Western Ecological
Research Center, 160 N. Stephanie Street, Henderson, NV 89074, USA ; DANIEL B.
THOMPSON, Department of Biological Sciences, 4505 Maryland Parkway, University of
Nevada Las Vegas, Las Vegas, NV 89154-4004, USA

J.L. PINAULT, D. ALLIER, M. CHABART - Préviation des volumes d'eau exploitables de 10
bassins versants en Champagne crayeuse. Rapport BRGM/RP-55087-FR . Décembre 2006

M. NORMAND, J.L. PINAULT, J.J. SEGUIN, J.F. VERNOUX – Assistance au plan sécheresse
en Ile de France. Rapport BRGM/RP-54221-FR

BRGM (1996) – Réseau piézométrique de la région Champagne-Ardenne : Etude comparée.
Rapport BRGM R38921 SGR/IDF ;

E. PUTOT, P. VERJUS (DIREN), JF. VERNOUX – Qualification du réseau piézométrique du
bassin Seine-Normandie en 2005. Rapport BRGM/RP-54481-FR

Notice d'Orientation régionale Champagne Ardenne en vue de la préservation de la ressource
en eau en période d'étiage. DREAL Champagne Ardenne.

F. CRASTES DE PAULET, R. DUFRENOY - Carte piézométrique de la Craie séno-turonienne
dans le Sud-Est du Bassin parisien – Basses eaux d'octobre 2011 - BRGM/RP-60712-FR
Janvier 2012

ROUXEL-DAVID E., 2002 - Cartographie de la piézométrie de la nappe de la craie en
Champagne-Ardenne. Rapport final. Rapport BRGM/RP-52332-FR

PUBLICATIONS Gardénia et dérivés (extrait)

THIERY D., 1995 - Influence de la physiographie d'un bassin versant sur les paramètres de
modélisation hydrologique globale. Application à la Bretagne et à la Moselle. VIIIèmes journées
hydrologiques de l'ORSTOM Montpellier "Régionalisation en hydrologie, application au
développement". In Le Barbé et E. Servat (Ed) ORSTOM Editions, pp. 517-529.

THIERY D. et MOUTZOPOULOS C., 1995 - Un modèle hydrologique spatialisé pour la
simulation de très grands bassins : le modèle EROS formé de grappes de modèles globaux
élémentaires. VIIIèmes journées hydrologiques de l'ORSTOM "Régionalisation en hydrologie,
application au développement". In Le Barbé et E. Servat (Ed.) ORSTOM Editions, pp. 285 295.

THIERY (D.), LUCAS (C.), DIAGANA (B.), 1993.- Modelling the aquifer recovery after a long duration drought in Burkina Faso proceedings of the IAHS/IAMAP International Symposium on "extreme hydrological events: precipitation, floods and drought" YOKOHAMA, Japon, Juill. 1993. Publication AIHS 213 pp 43-50.

THIERY (D.), 1991. - Analyse par modélisation hydrologique globale de la sensibilité des aquifères aux sécheresses et à la pollution. Congrès : Société Hydrotechnique de France XXles Journées de l'Hydraulique, Sophia Antipolis, 29 31 janvier 1991 "Les eaux souterraines et la gestion des eaux" pp 1.16.1-1.16.9.

THIERY (D.), 1990. - Analysis of long duration piezometric records from Burkina Faso to determine aquifer recharge. Rev. IAH International contributions to hydrogeology, vol.8, 1990, p.313 323.

Annexe 1

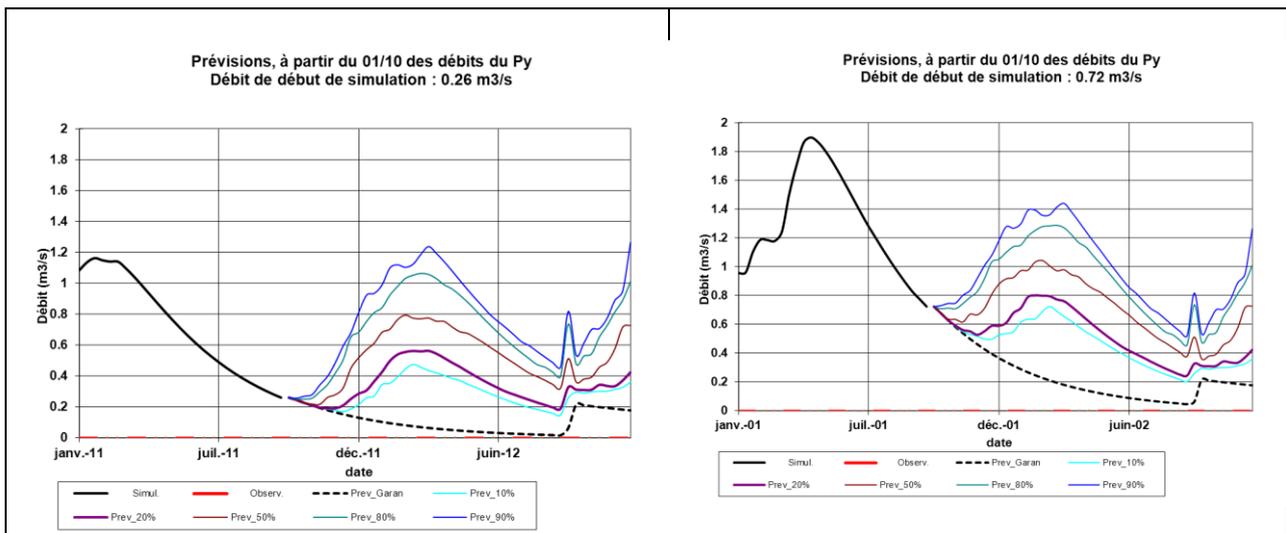
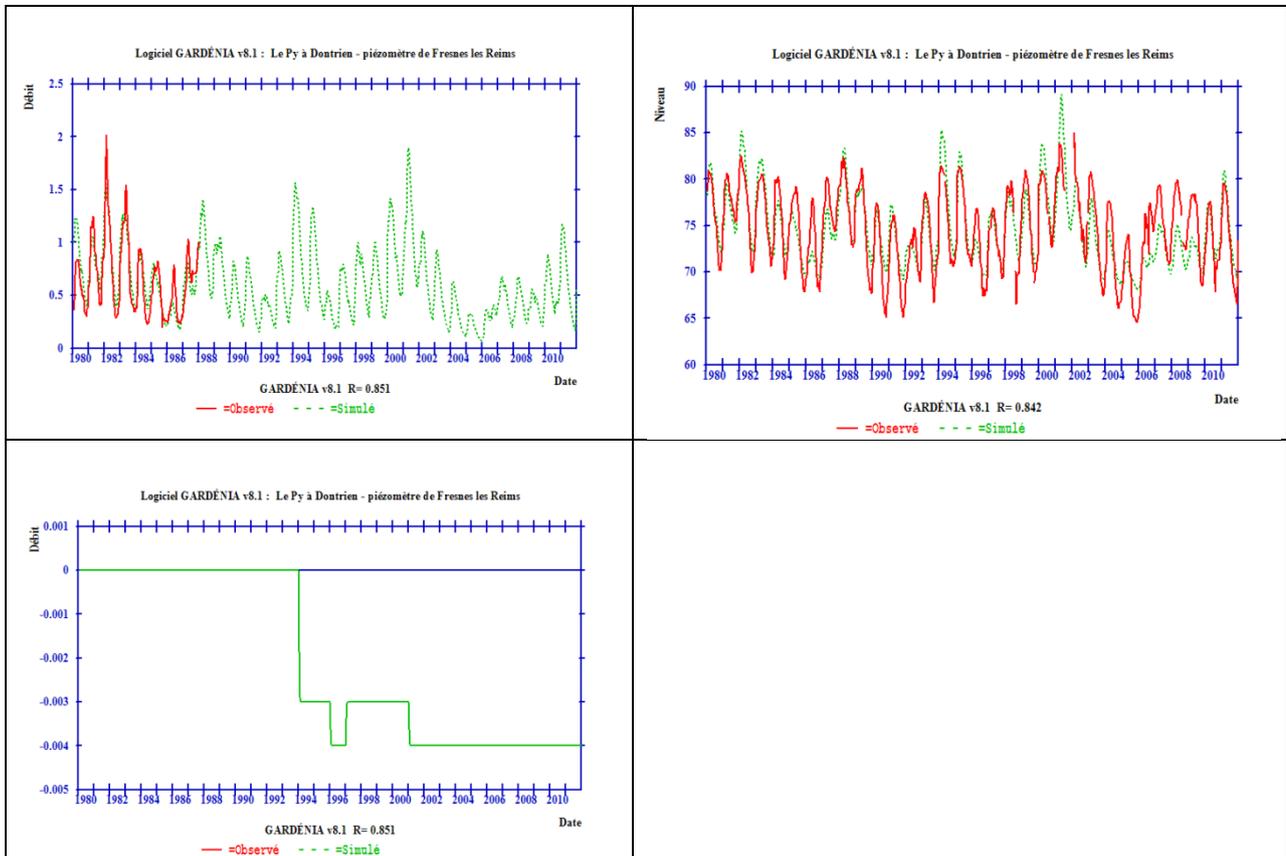
-

Fiches des modélisations

(logiciel GARDENIA)

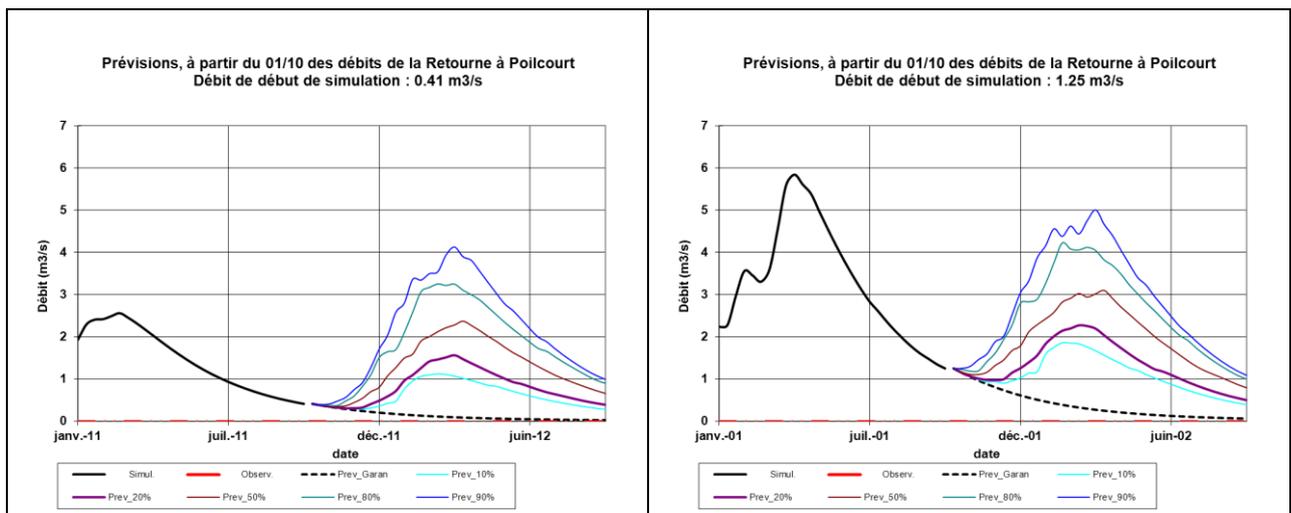
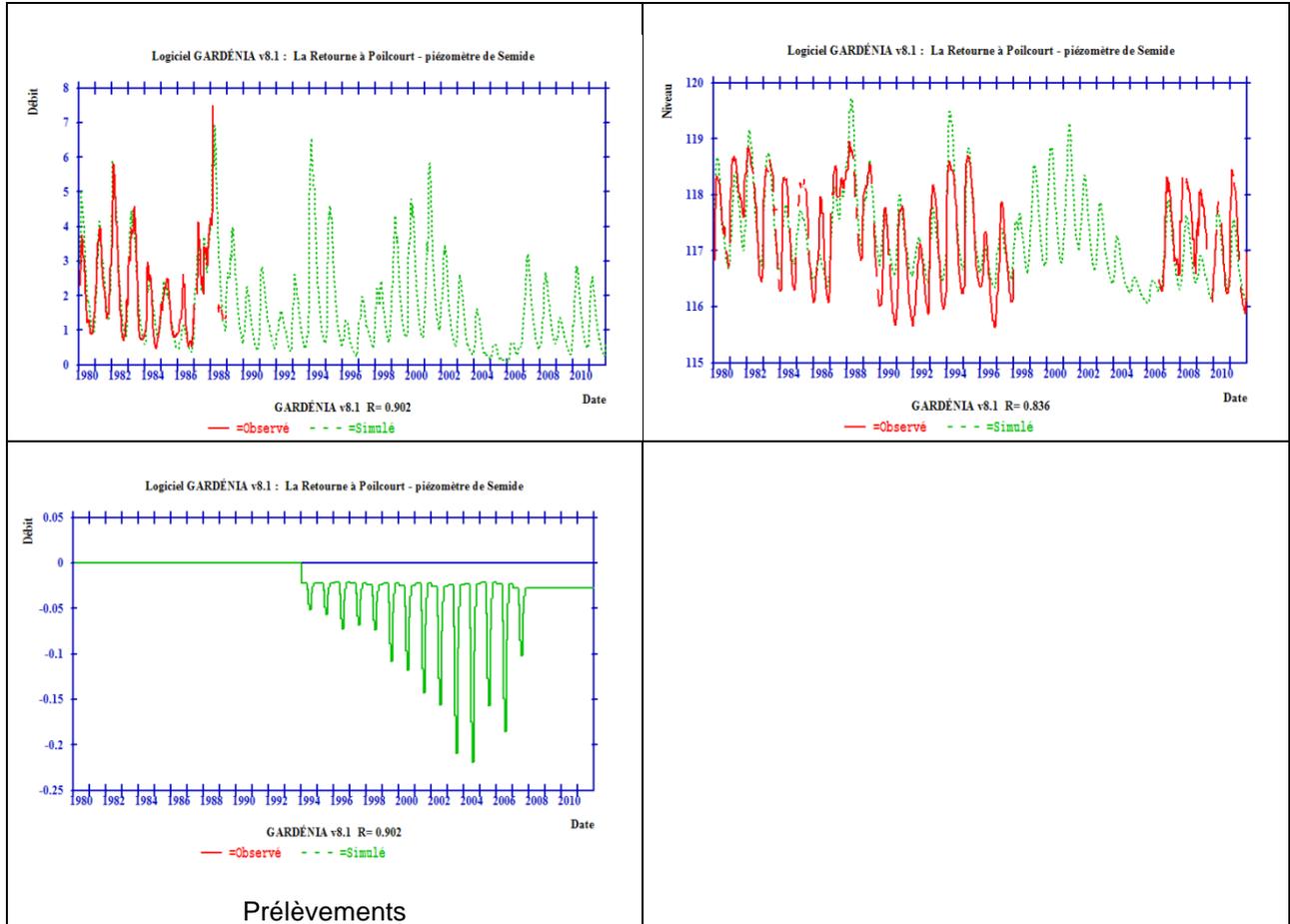
Le Py à Dontrien (HG3207)

Calage avec piézomètre : 0186x0011 Fresnes les Reims



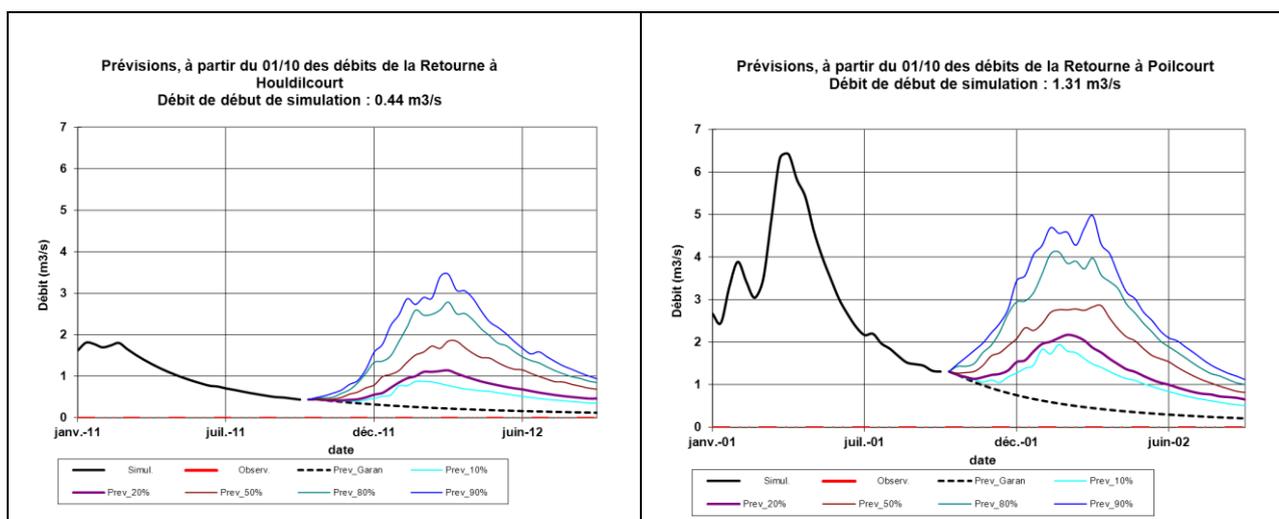
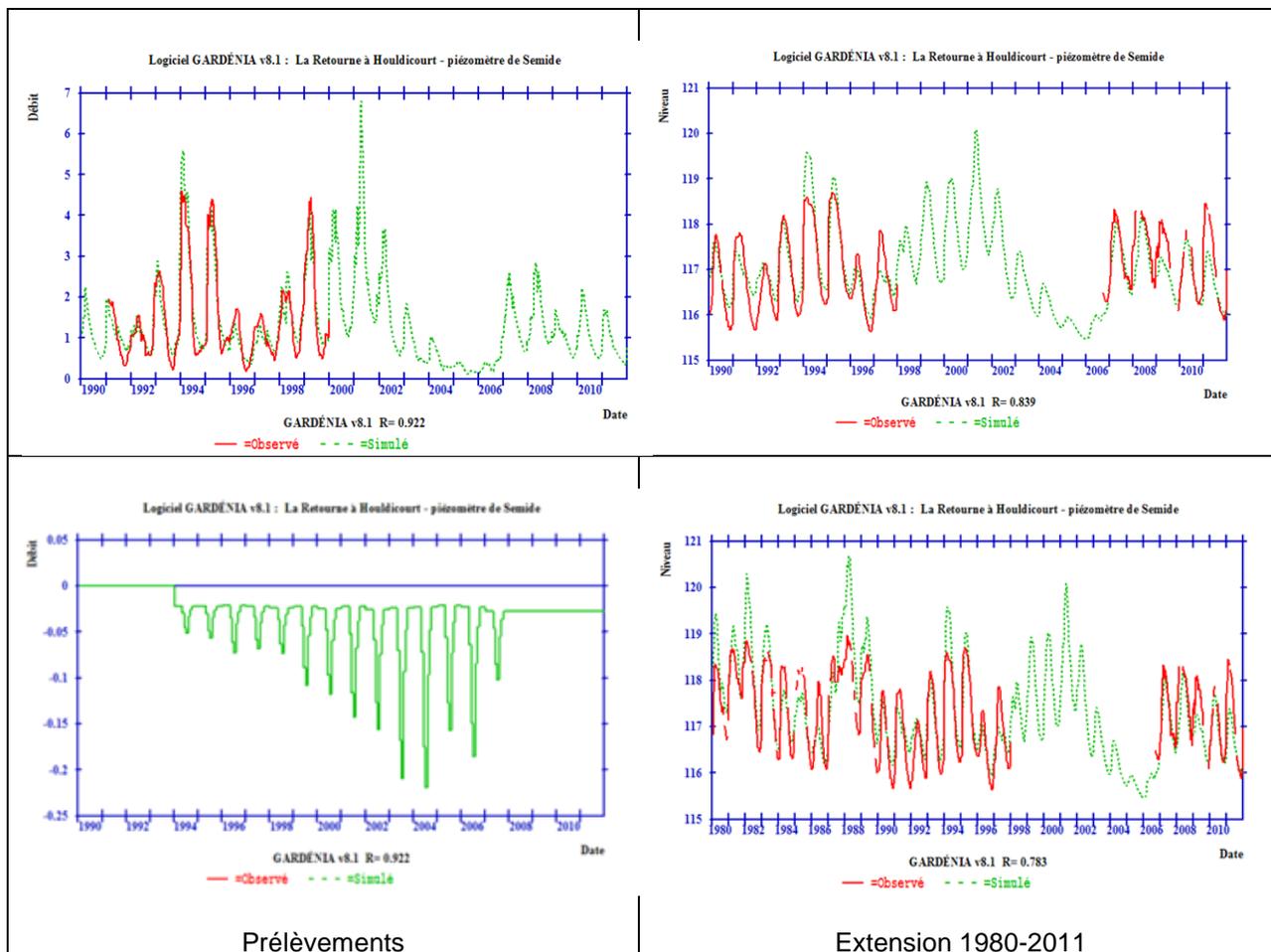
La Retourne à Poilcourt (HG3207)

Calage avec piézomètre : 01097x0014 Semide



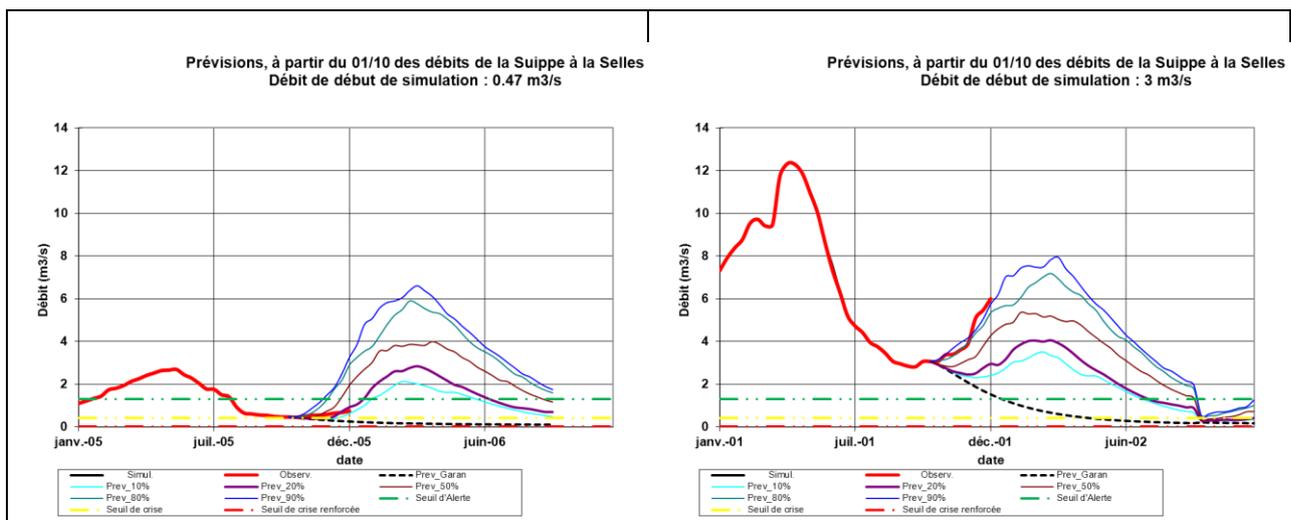
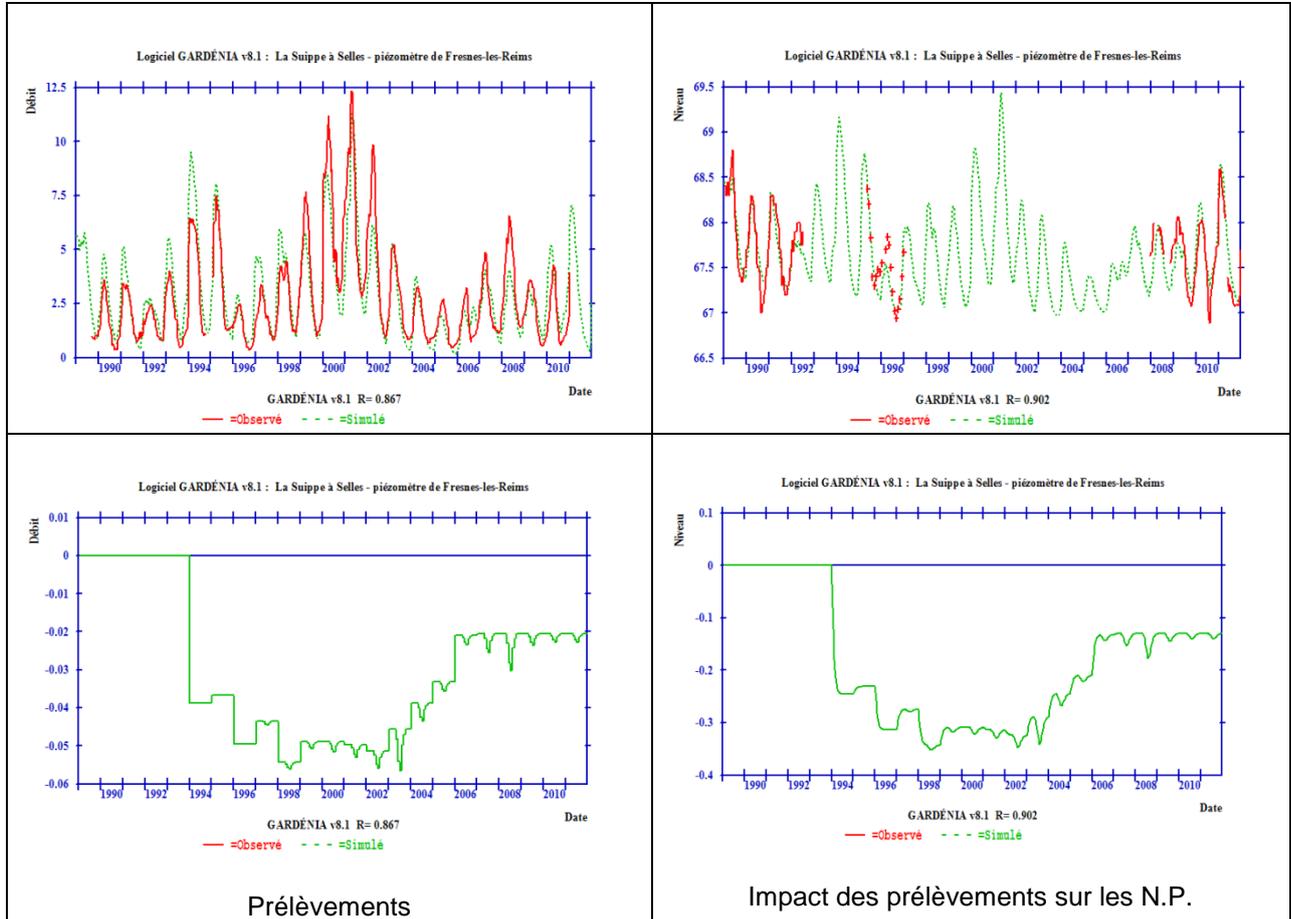
La Retourne à Houdilcourt (HG3207)

Calage avec piézomètre : 0186x0011 Fresnes les Reims



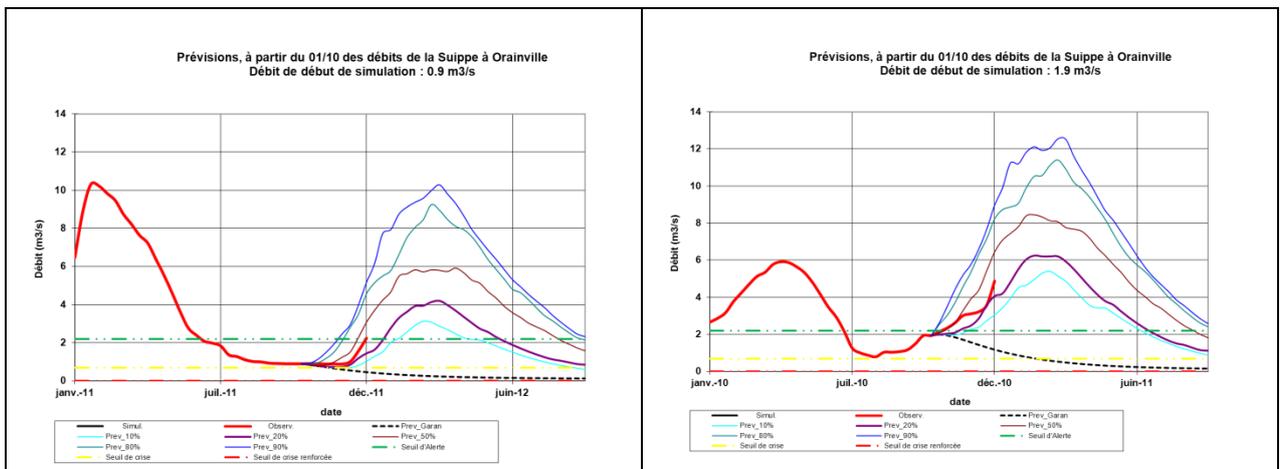
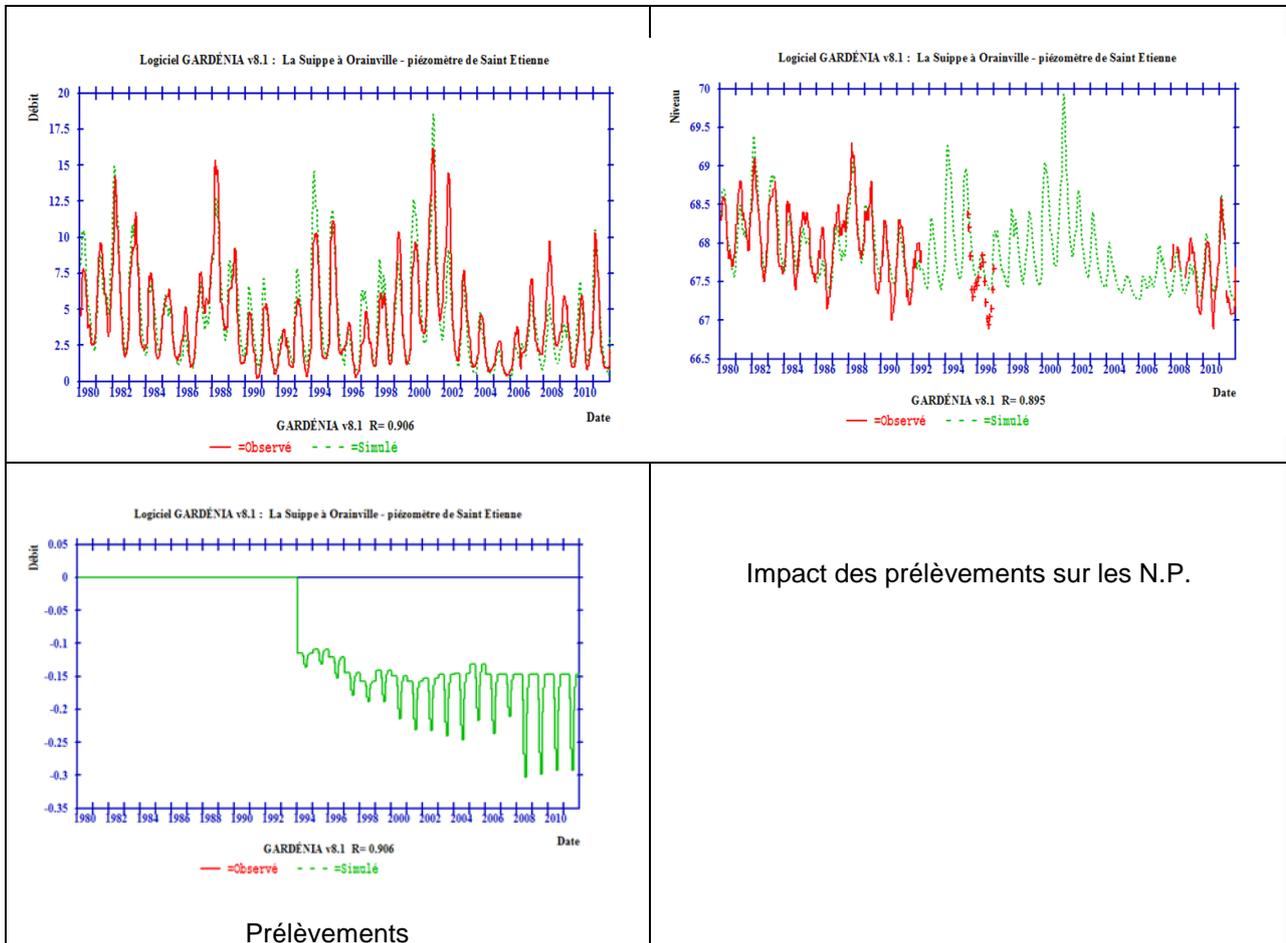
La Suipe à Selles (HG3207)

Calage avec piézomètre : 01086x0013



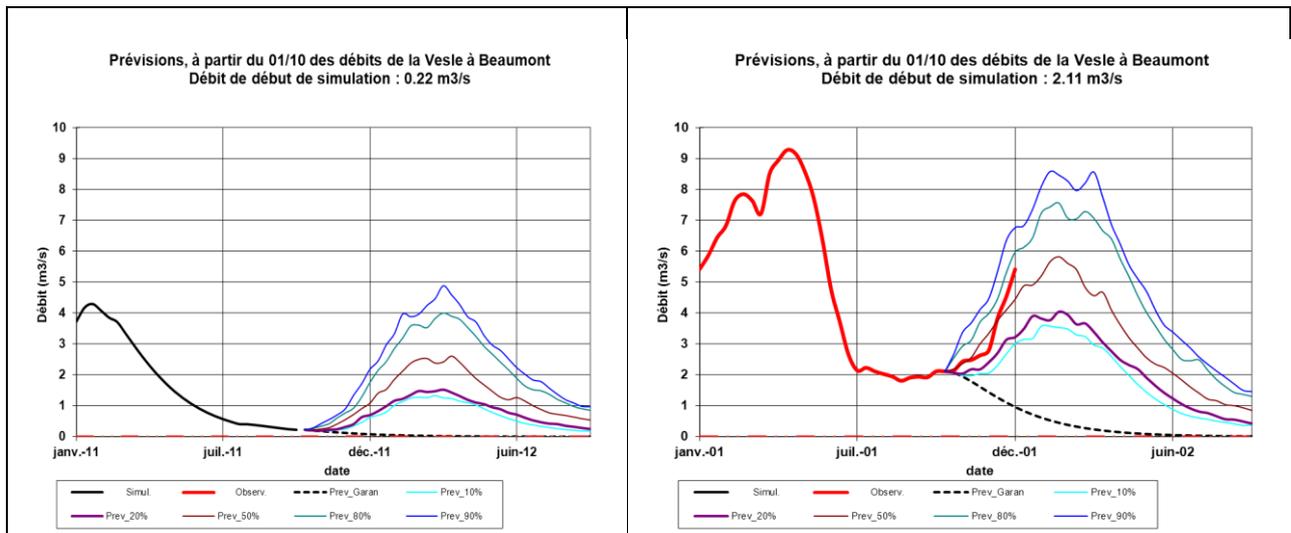
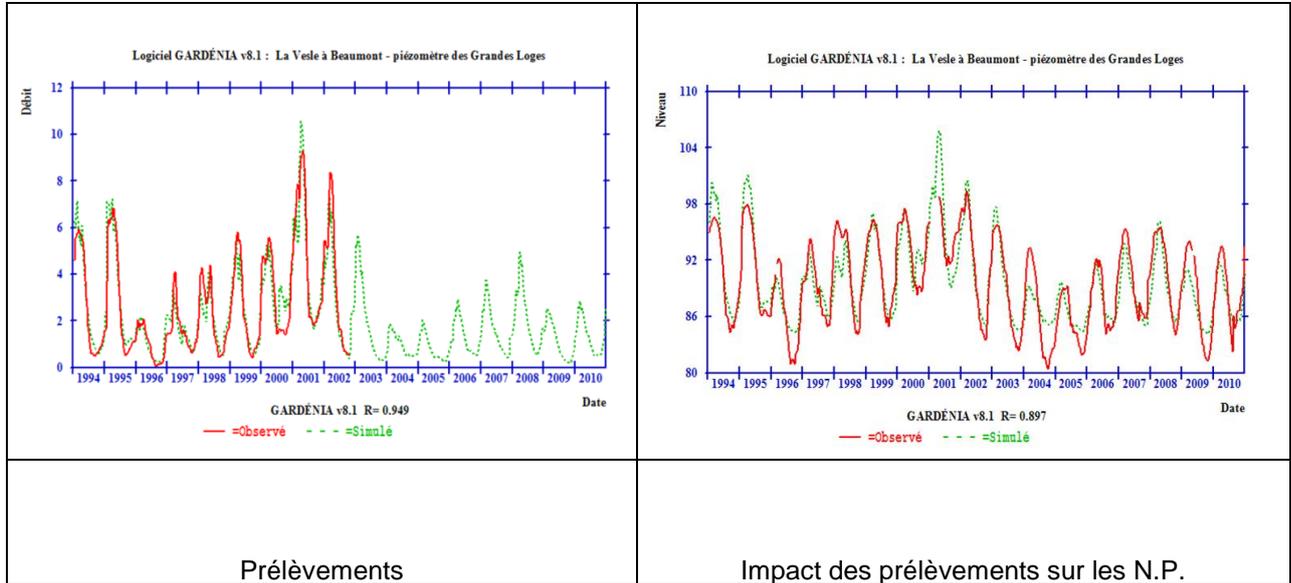
La Suippe à Orainville (HG3207)

Calage avec piézomètre : 01086x0013 Saint Etienne de Reims



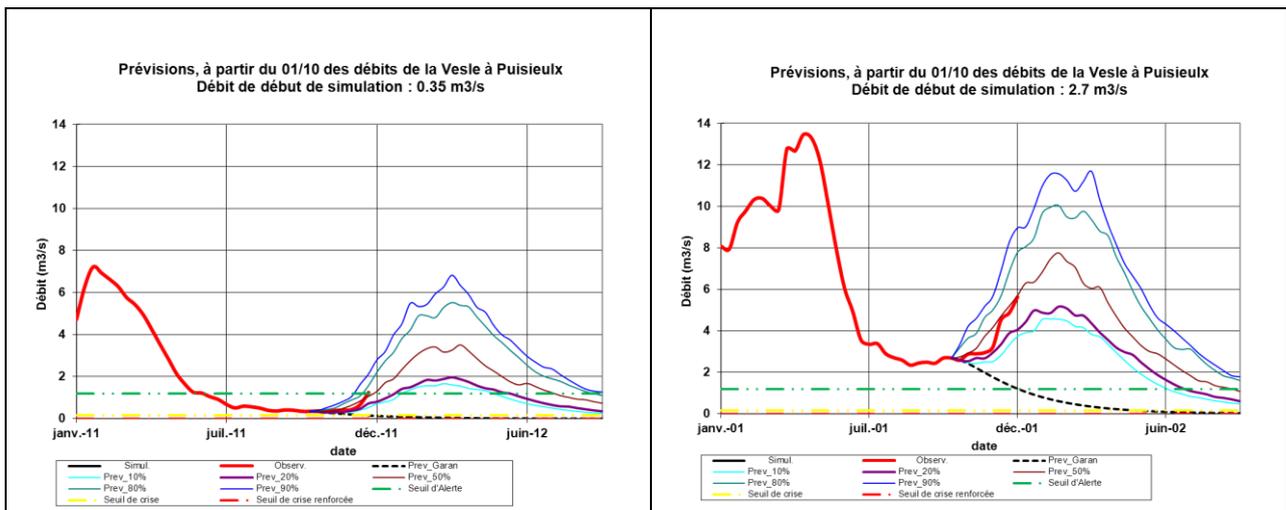
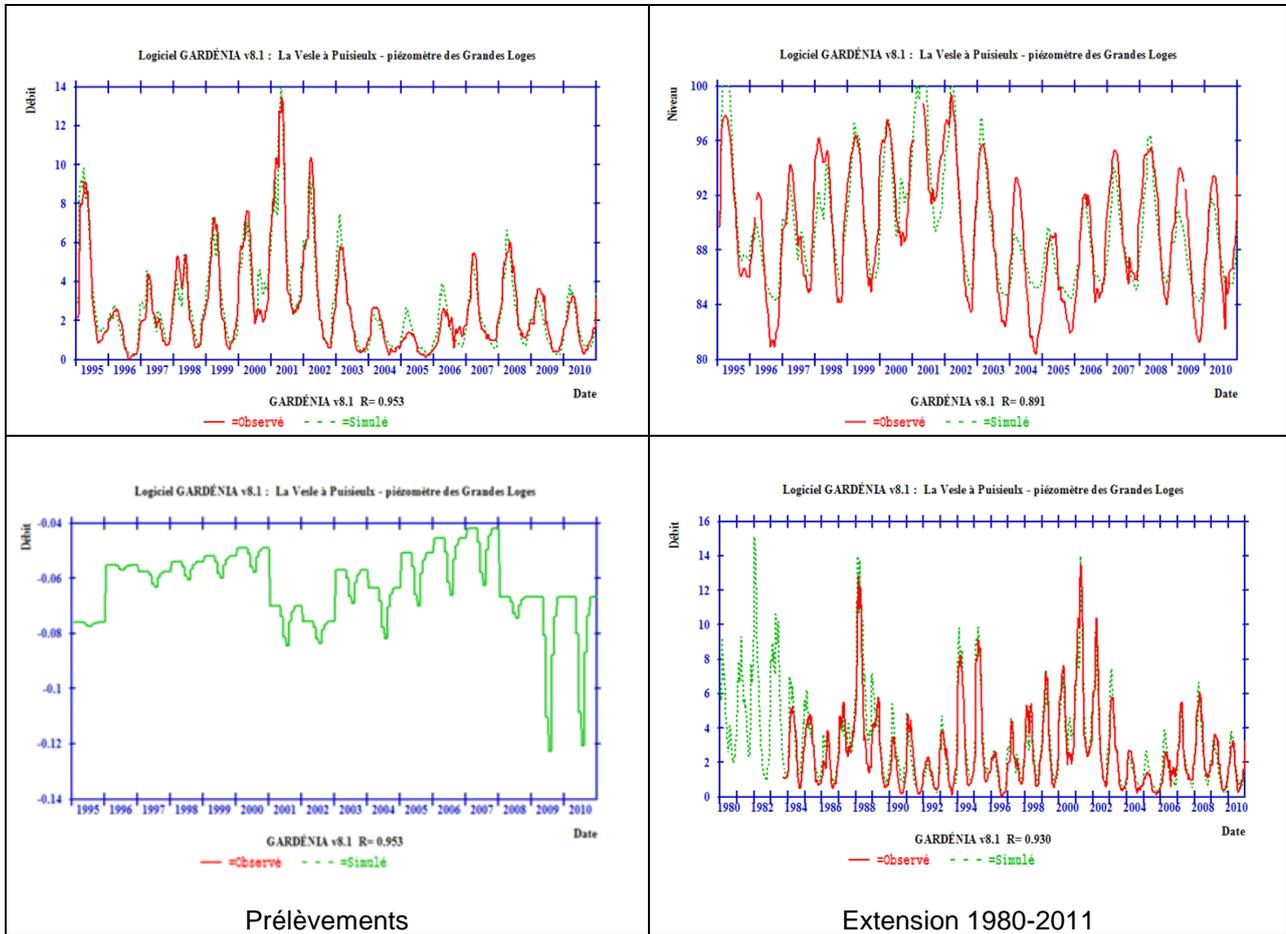
La Vesle à Beaumont (HG3207)

Calage avec piézomètre : 01584x0023 Grandes Loges



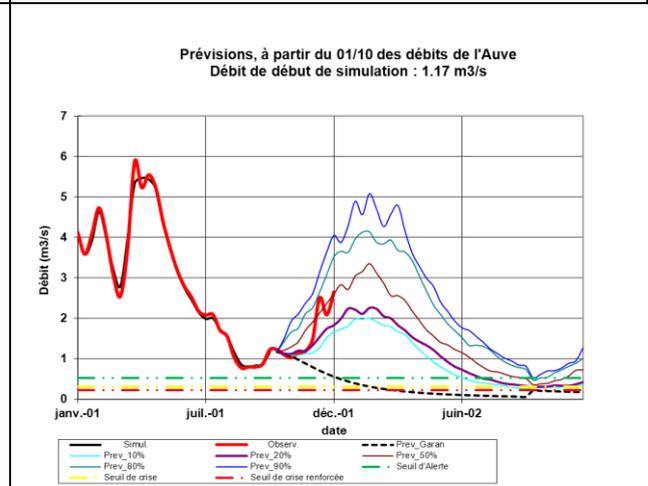
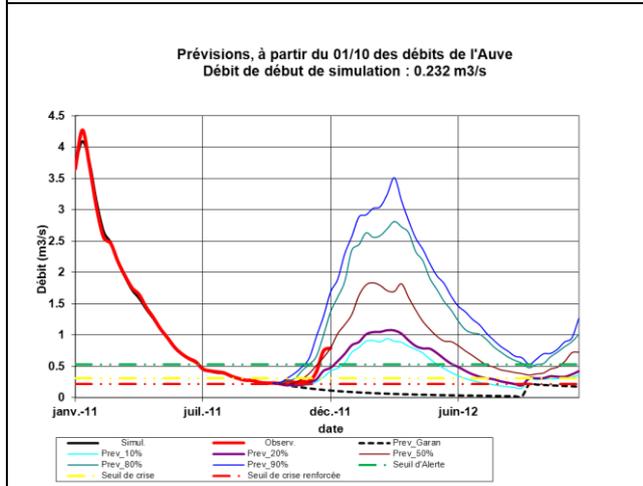
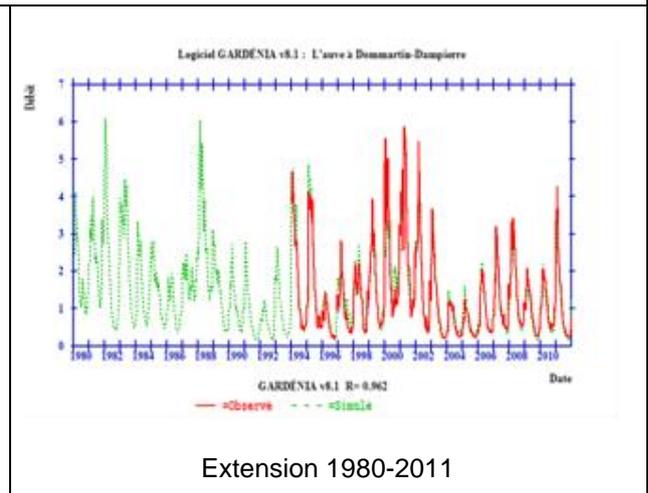
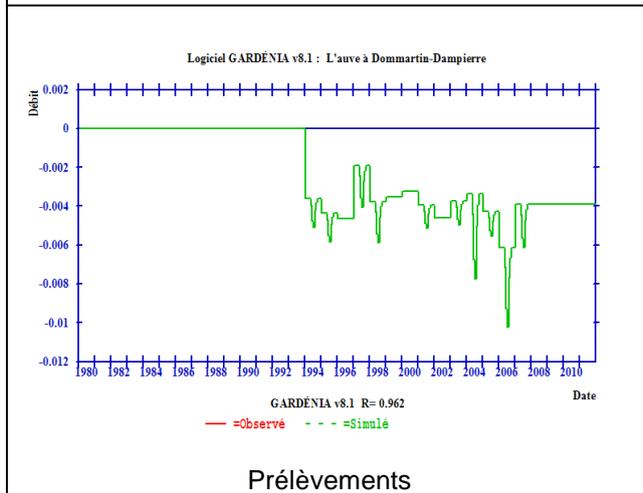
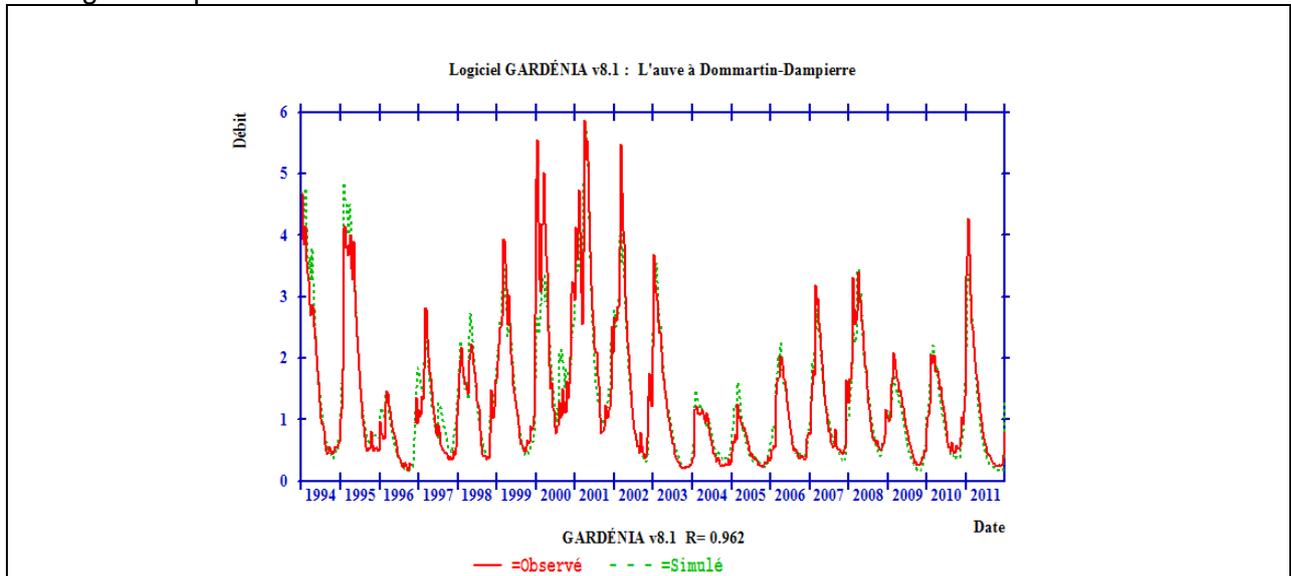
La Vesle à Puisieux (HG3207)

Calage avec piézomètre : 01584x0023 Grandes Loges



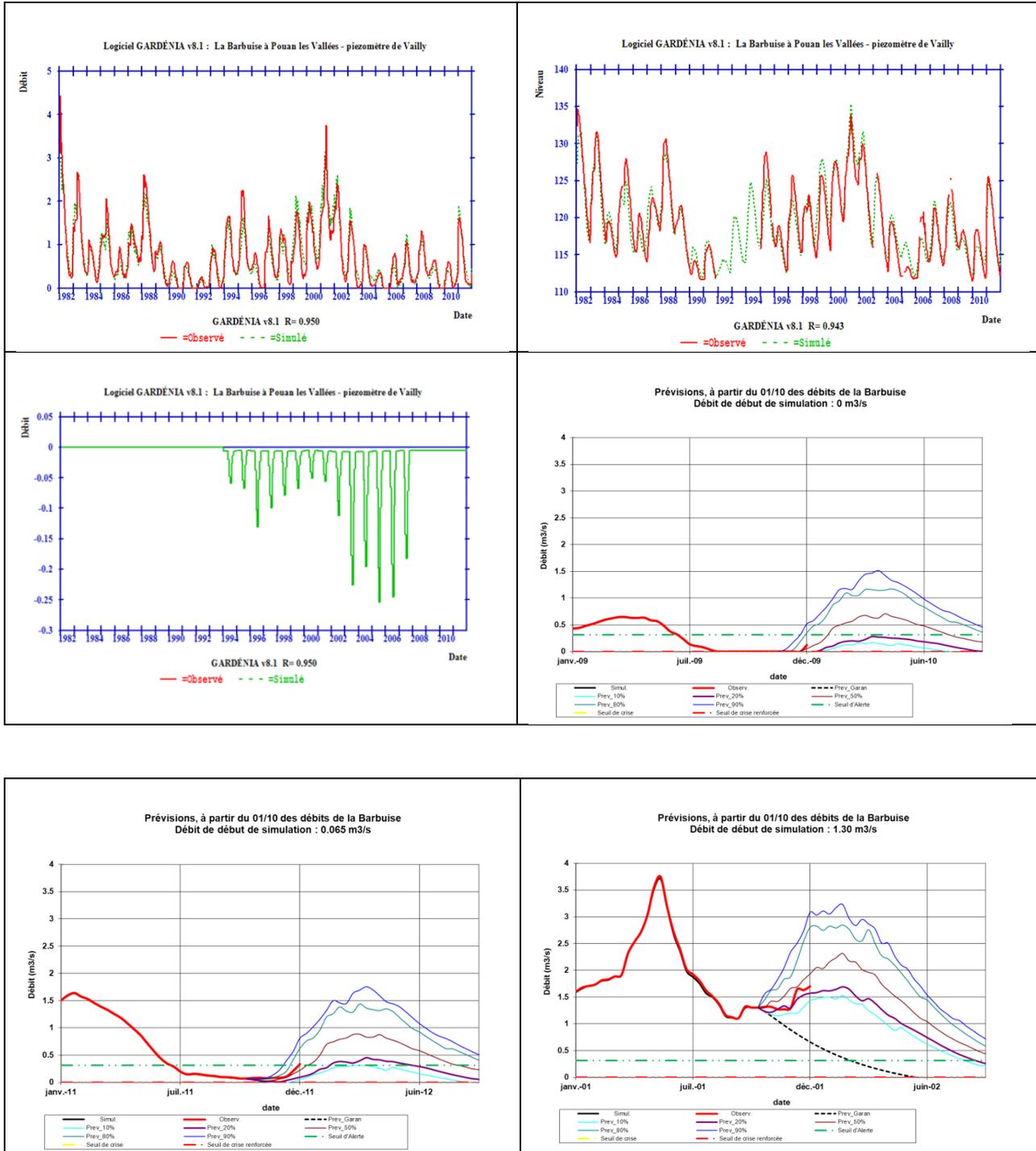
L'Auve à Dommartin Dampierre (HG3207)

Calage sans piézomètre



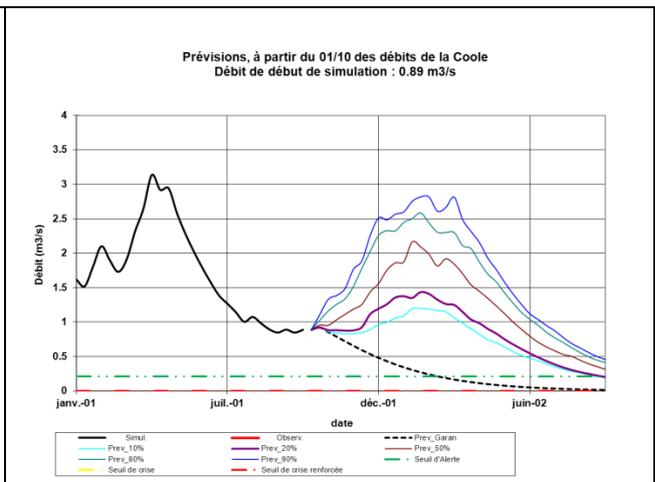
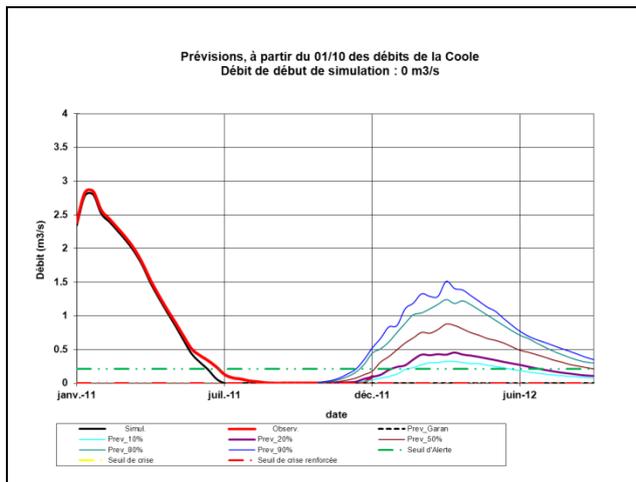
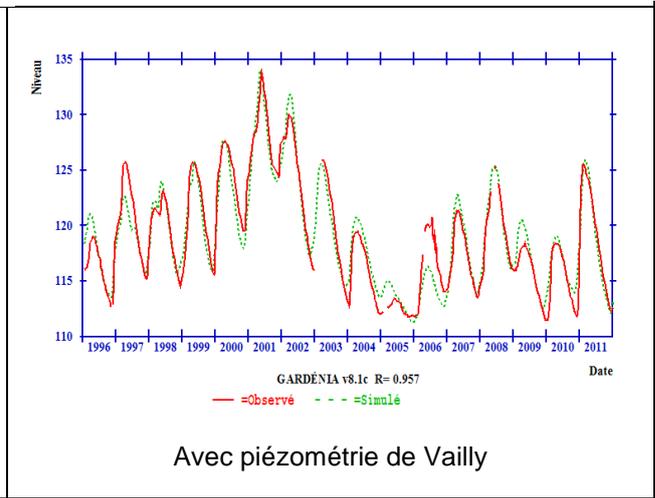
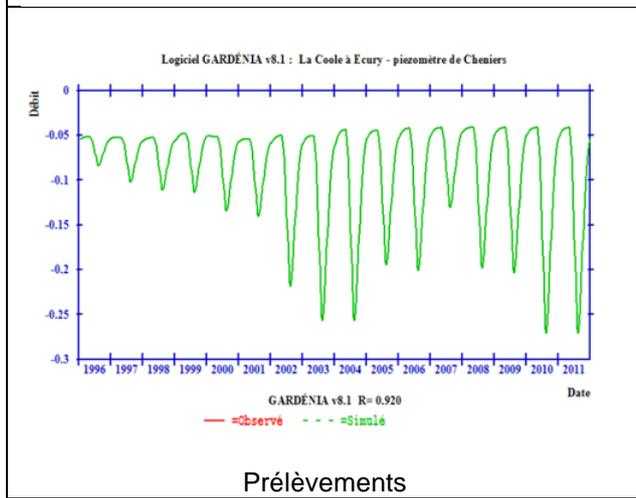
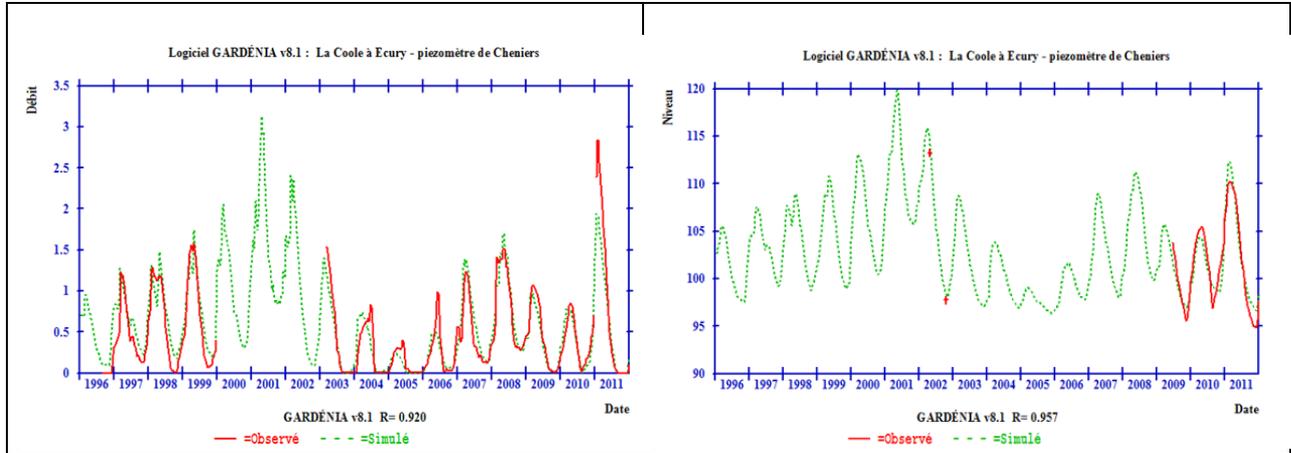
La Barbuise à Poan les Vallées (HG3208)

Calage avec piézomètre : 02982x0028 Vailly



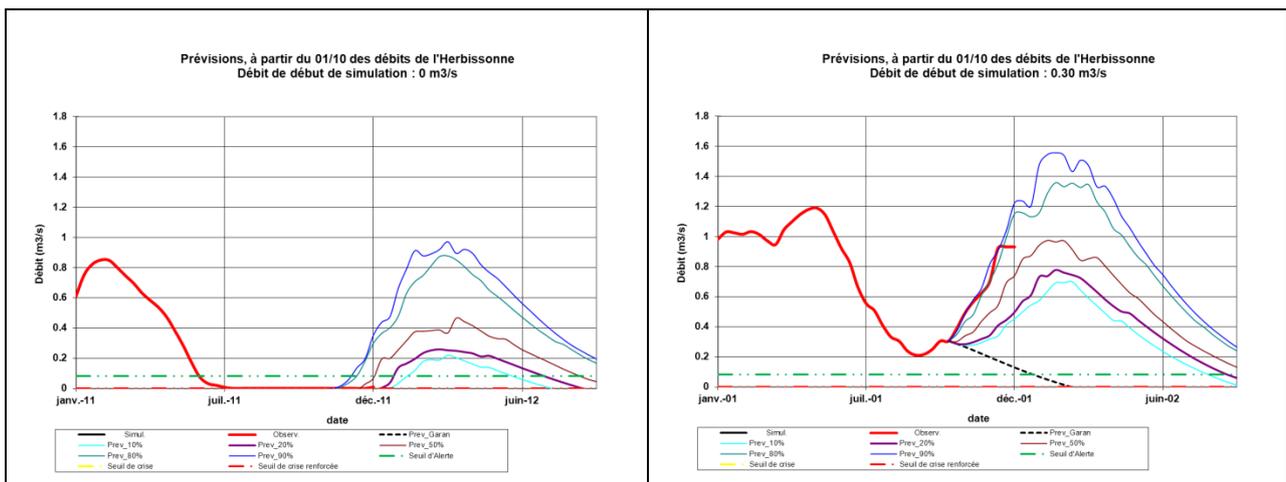
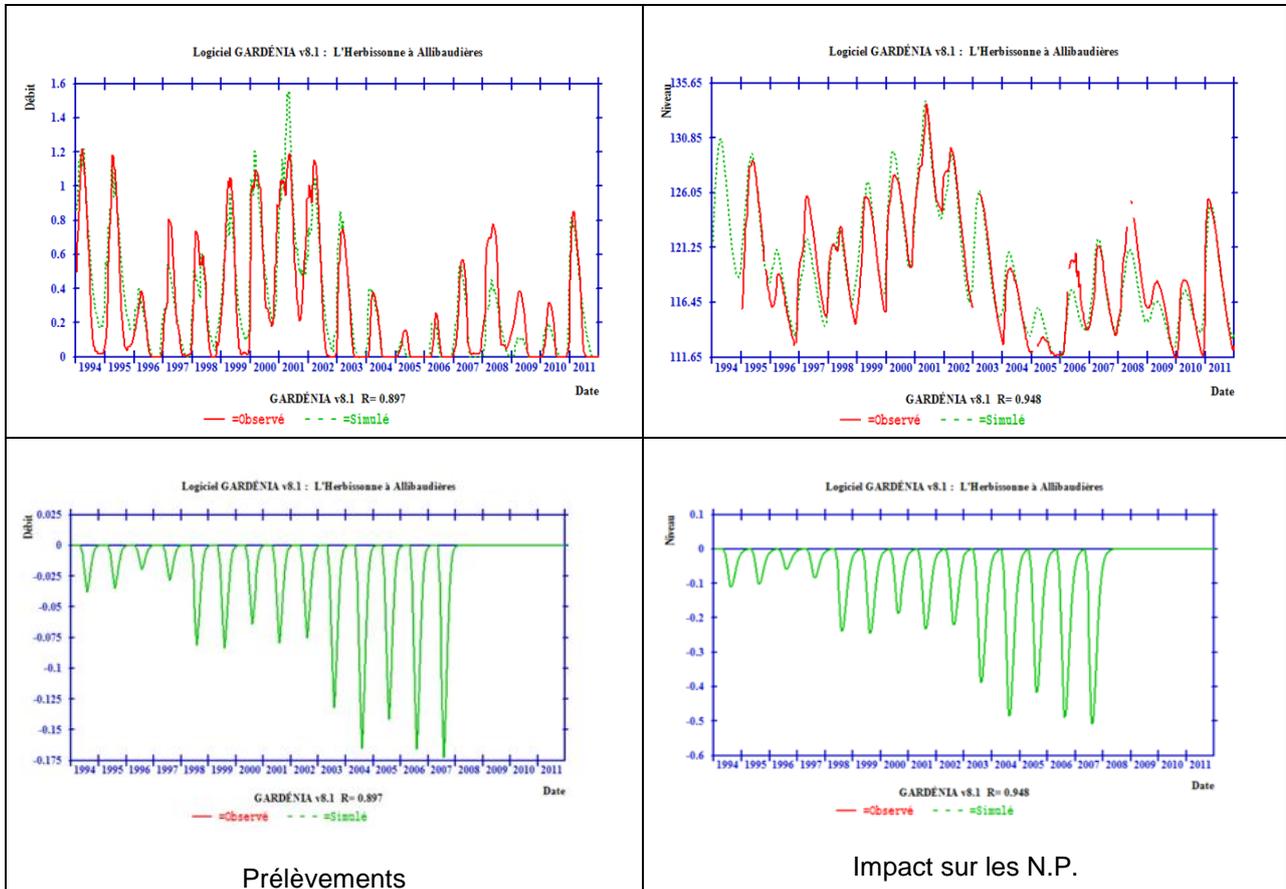
La Coole à Ecury sur Coole (HG3208)

Calage avec piézomètre : 01884x0062 Cheniers



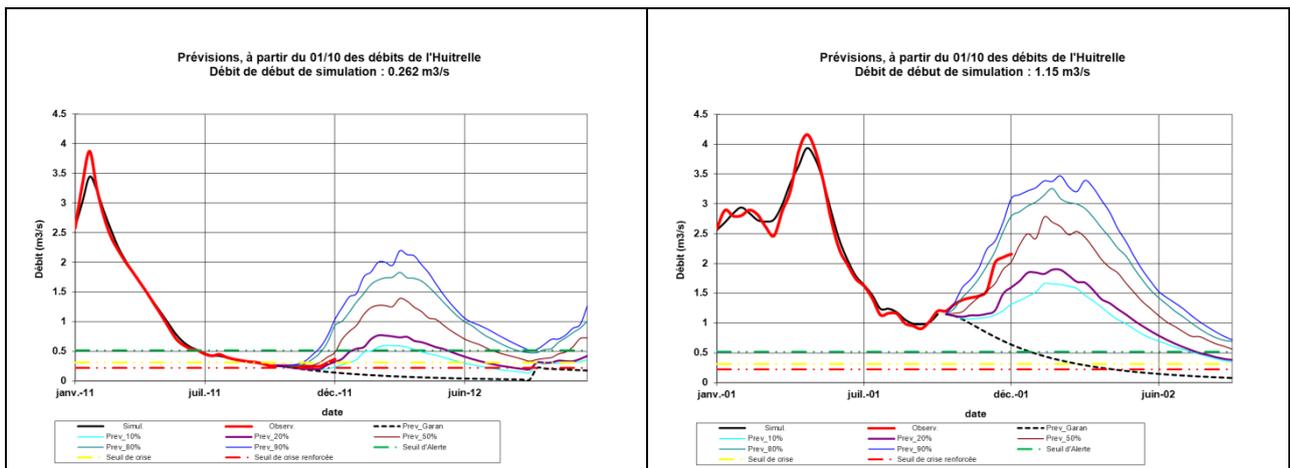
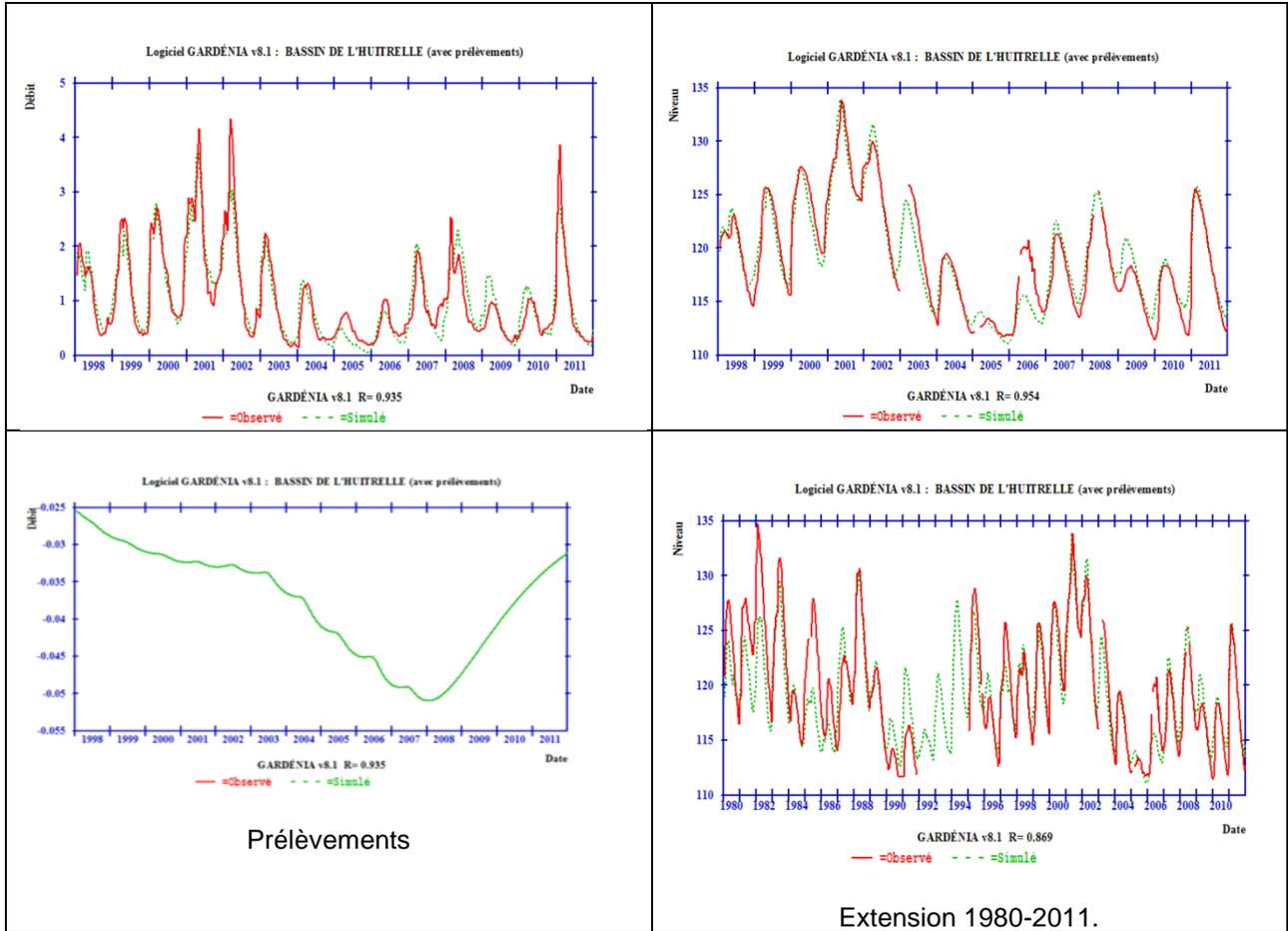
L'Herbissonne à Allibaudières (HG3208)

Calage avec piézomètre : 02982x0028 Vailly



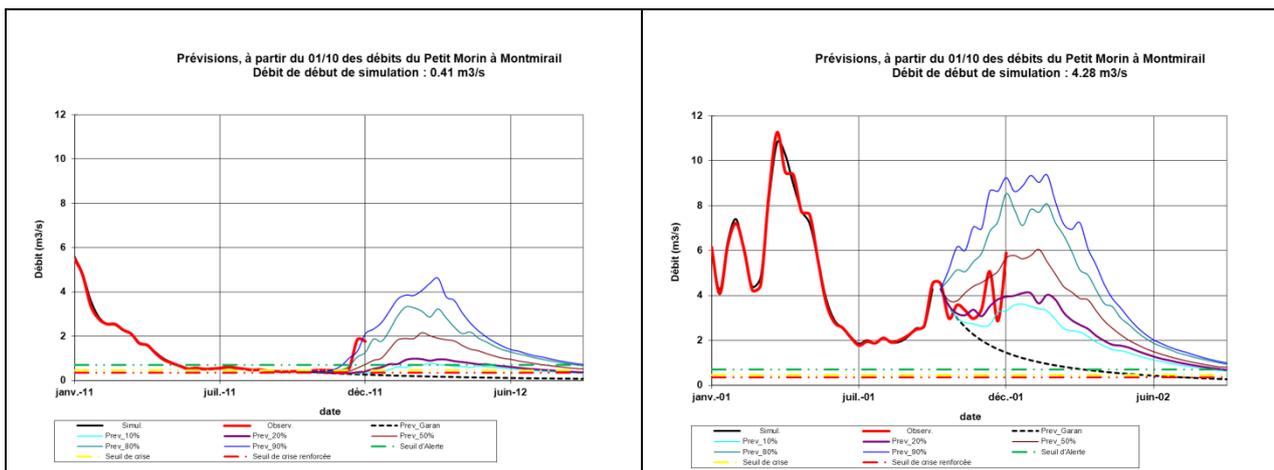
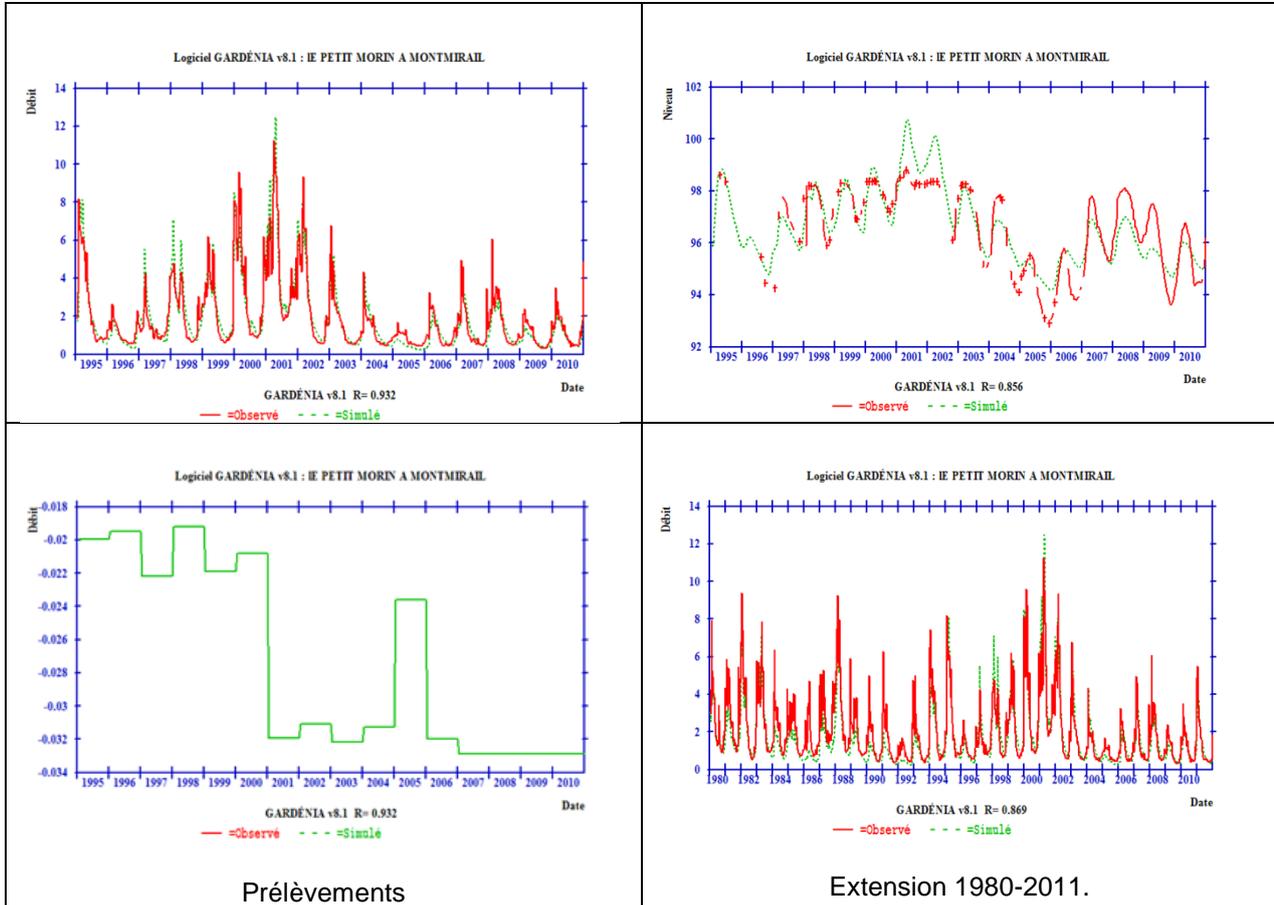
L'Huitrelle à Lhuitre (HG3208)

Calage avec piézomètre : 02982x0028 Vailly



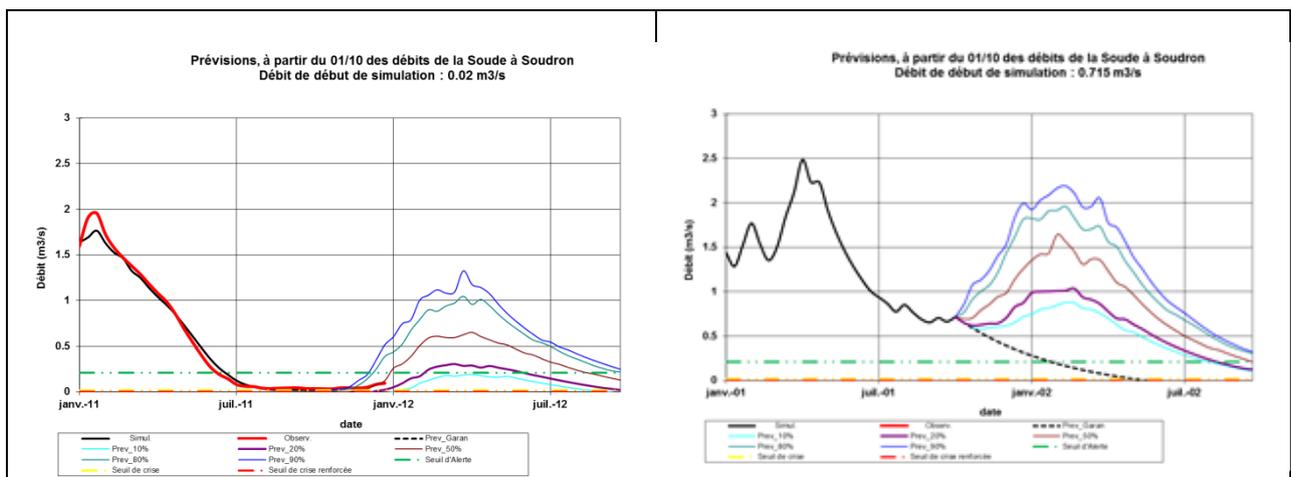
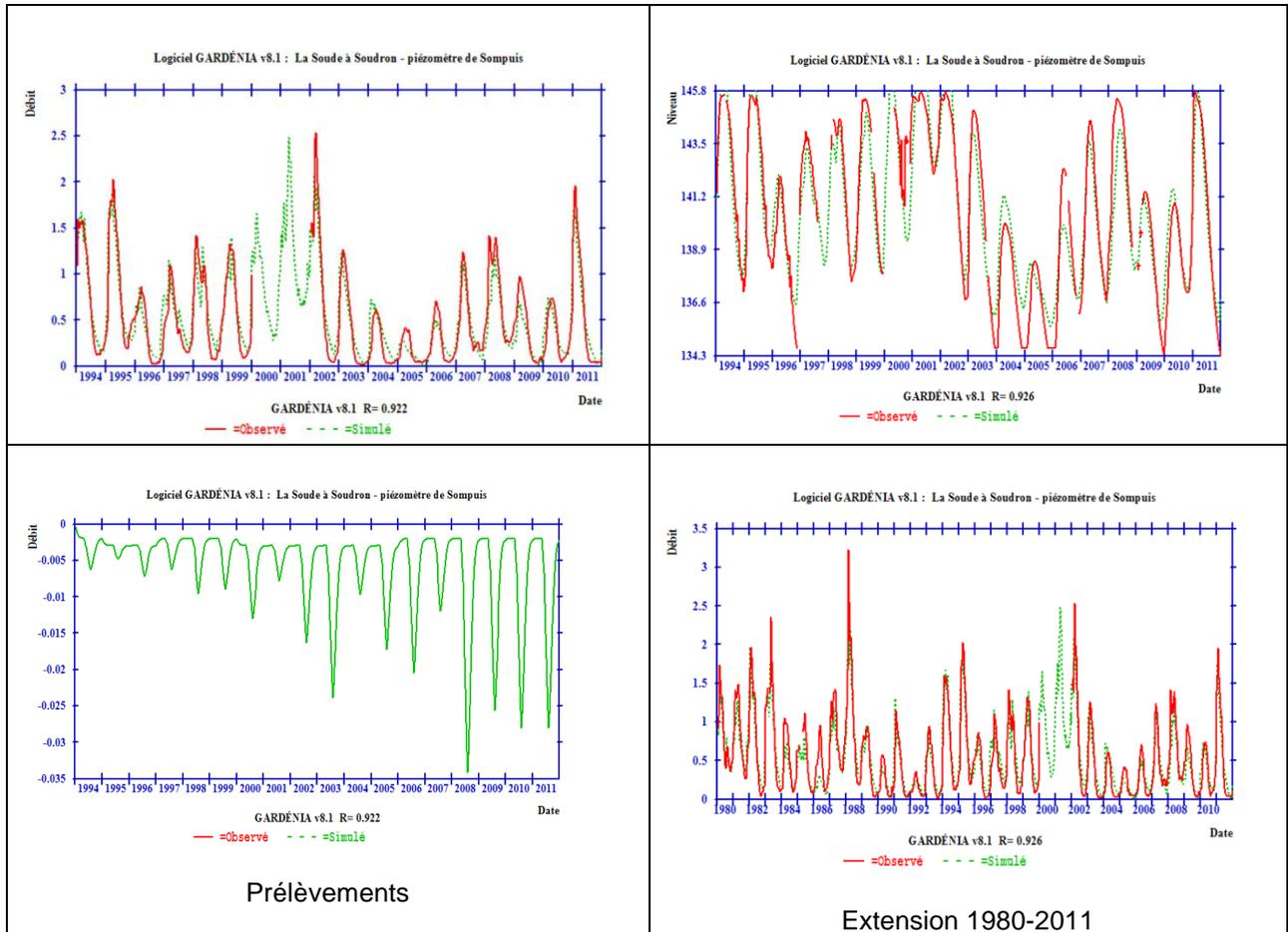
Le Petit Morin à Montmirail (HG3208)

Calage avec piézomètre : 02233X0015



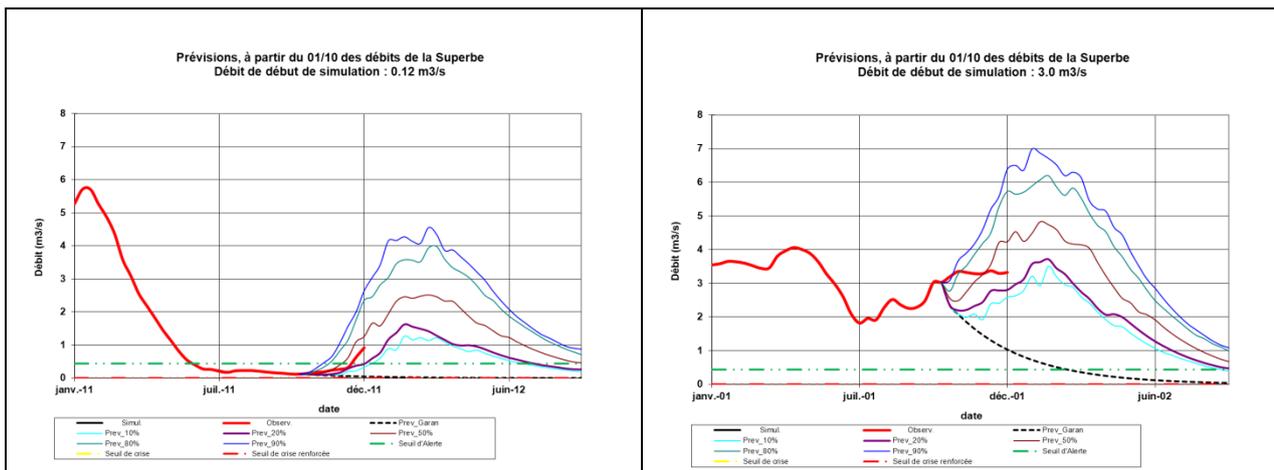
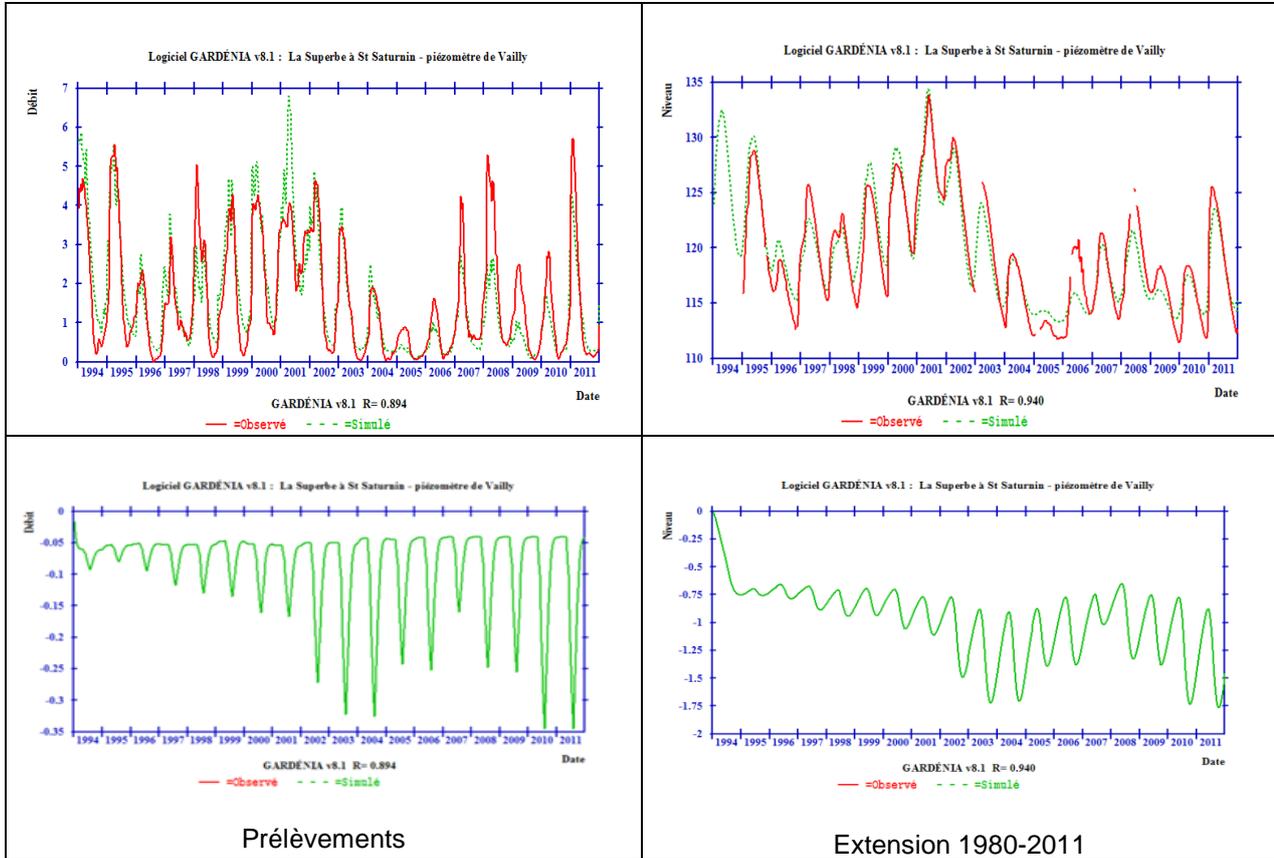
La Soude à Soudron (HG3208)

Calage avec piézomètre : SOMPUIS



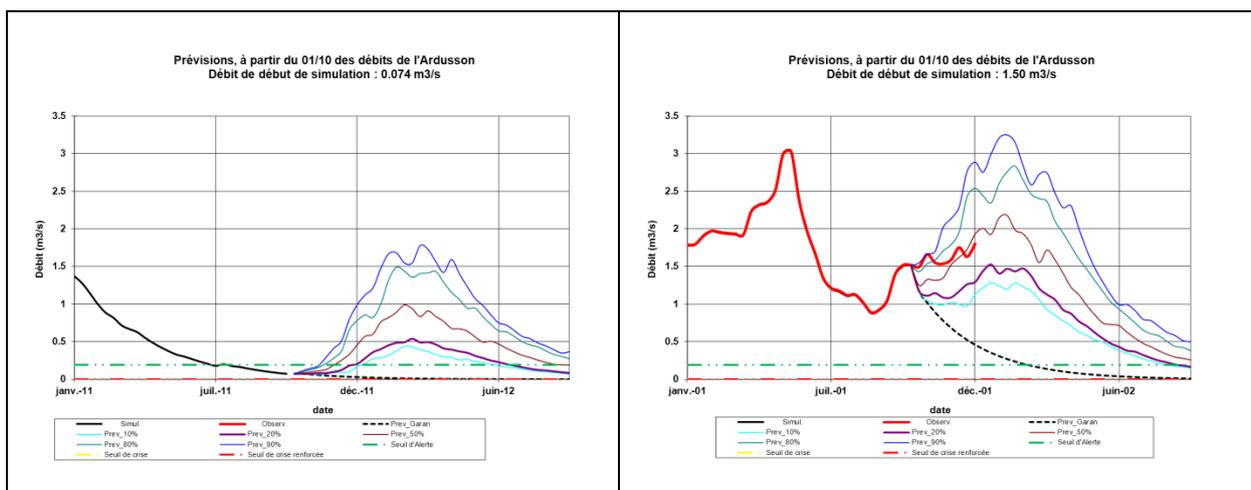
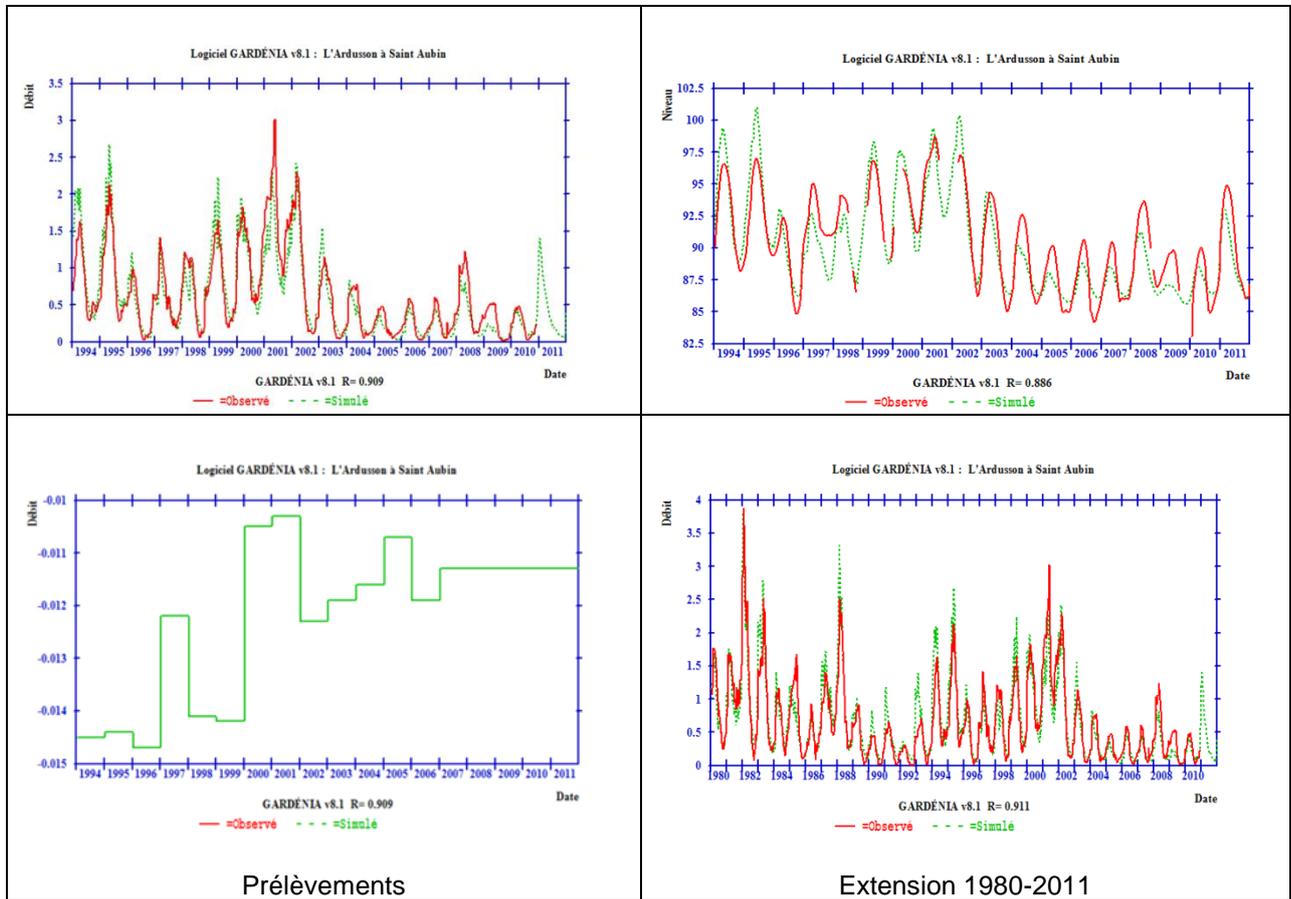
La Superbe à Saint Saturnin (HG3208)

Calage avec piézomètre : 02982x0028 Vailly



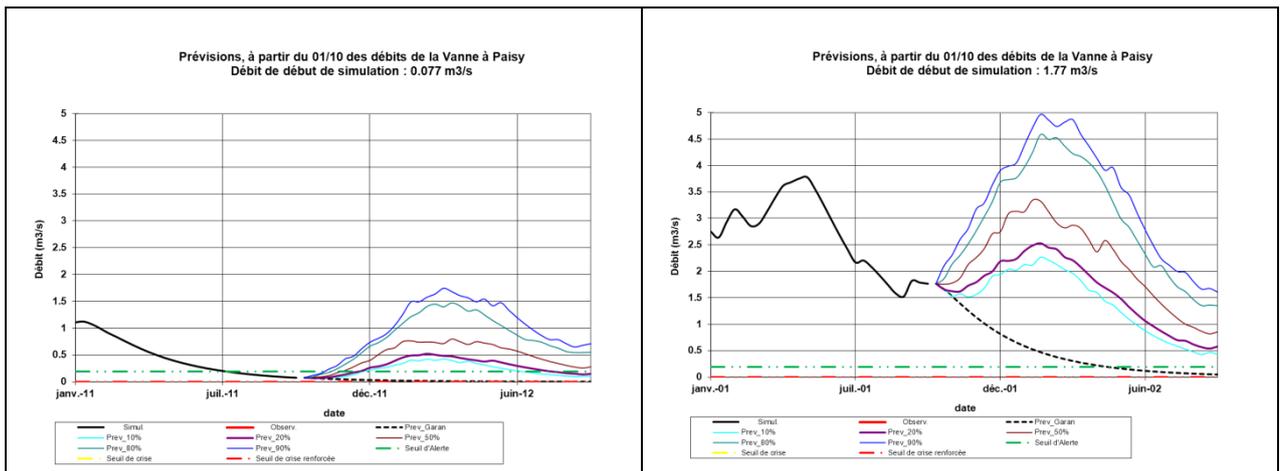
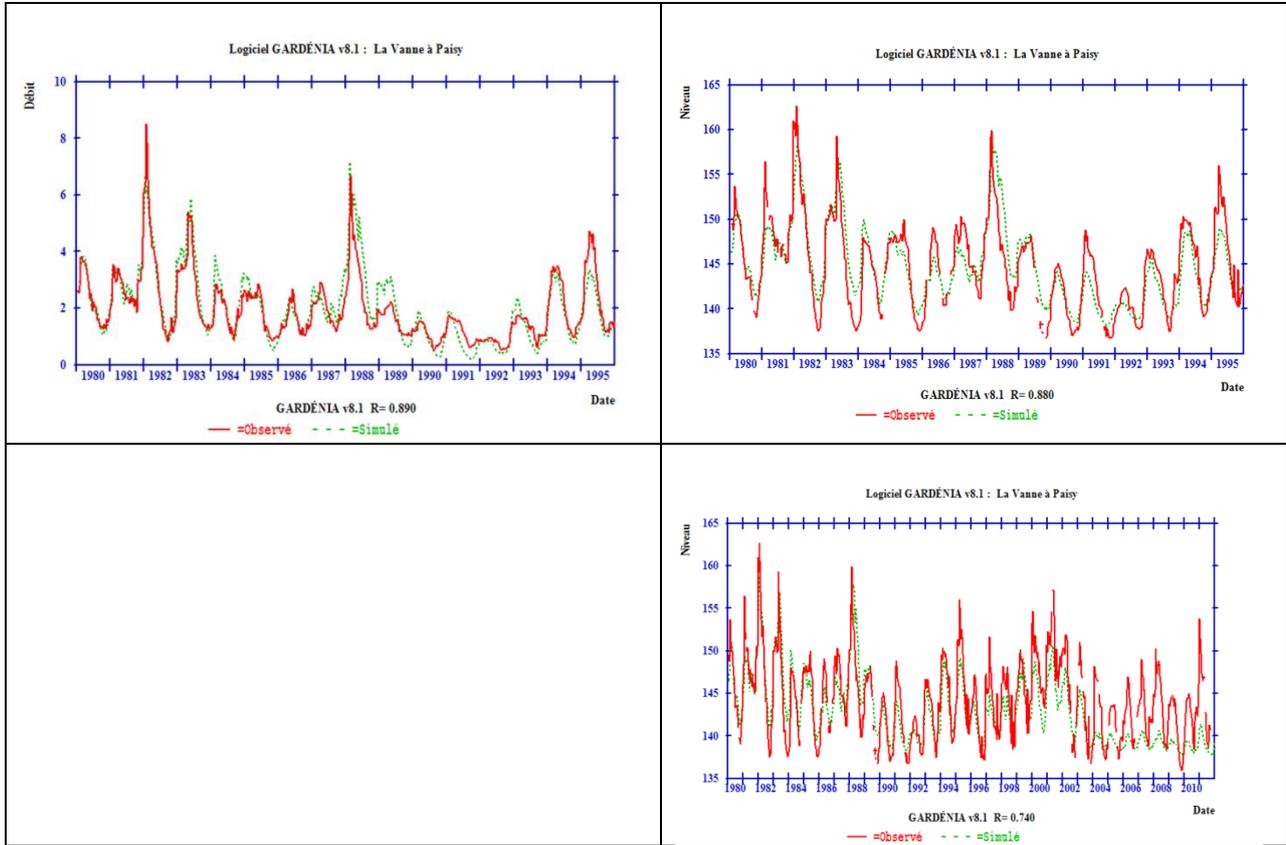
L'Ardusson à Saint Aubin (HG3209)

Calage avec piézomètre : 02617x0009



La Vanne à Paisy Cosdon (HG3209)

Calage avec piézomètre : 02974x0004



Annexe 2

-

Tableaux récapitulatifs des principales valeurs résultantes des bassins versants de la craie

Connaissance des ressources réellement disponibles sur l'ensemble des bassins versants crayeux
Bassin Seine-Normandie en Champagne-Ardenne

principaux résultats sur les bassins versants suivis ou jaugés																	
MES	riv	Calcul de pluie efficace réalisé avec corrélation								calcul avec ETP moyenne							
		rugom_2	pente2_m	rui_MF	rui_étude	Rech_étude	jo_prev	ratio_irr	rec	eff2	etudch2	etudi2	etudna5	etudqma5	etudqmn_prei	Vol.3mois	Vol.5mois
HG207	Le Fion	9.411	6.251	65	72	146	0.72	0.00	227	152	75	60	2.78	3.2	0.4	0.9	
HG207	La Moivre	8.315	5.460	58	47	170	1.85	0.74	224	176	48	100	1.73	38.4	1.5	2.8	
HG207	l'Auve	7.838	3.981	67	46	219	0.45	0.04	266	219	46	230	3.47	3.1	1.9	3.9	
HG207	La Tourbe	8.959	4.747	63	49	220	0.69	0.28	317	259	58	40	0.93	34.4	0.2	0.7	
HG207	L'Avegres	8.732	4.850	65	30	215	5.16	0.00	273	240	33	35	0.86	107.1	0.7	1.4	
HG207	Le Jailly	10.059	6.010	61	97	137	0.35	0.00	255	149	106	5	0.34	11.7	0.1	0.3	
HG207	La Saulce Champ.	9.068	5.410	59	38	153	2.12	0.00	179	143	36	0	0.00	0.0	0.2	0.4	
HG207	Le Saint Fergeux	12.149	7.364	84	108	161	1.04	0.00	317	190	128	0	0.00	0.0	0.0	0.0	
HG207	Le Ru Des Barres	10.686	6.335	72	54	172	2.86	0.16	241	183	58	340	10.81	4.6	0.0	0.0	
HG207	La Retourne	5.891	3.202	54	68	117	3.70	1.76	184	117	68	310	2.51	40.4	2.8	5.6	
HG207	La Retourne	5.912	3.227	54	120	41	10.82	5.14	167	41	120	400	3.31	31.3	1.5	3.1	
HG207	La Suiippe	5.616	3.044	50	1	170	3.33	0.29	175	170	1	730	2.37	26.6	7.7	17.7	
HG207	La Suiippe	6.138	3.256	52	1	190	2.50	0.09	206	190	1	700	3.76	12.0	5.1	10.0	
HG207	Le Py	7.920	4.574	0	1	216	0.62	0.00	215	216	1	175	5.13	2.2	1.0	1.9	
HG207	La Vesle	5.285	2.485	55	1	187	1.52	0.52	229	187	1	130	1.19	45.6	3.8	7.4	
HG207	La Vesle	5.305	2.741	51	33	134	3.95	0.77	147	134	33	370	1.59	48.4	4.0	8.3	
HG207	La Vesle	5.133	2.485	0	26	147	3.32	0.81	172	147	26	0	0.00	0.0	0.0	0.0	
HG208	Le Ravet	7.008	3.562	61	63	149	6.57	6.57	205	144	60	0	0.00	0.0	0.0	0.0	
HG208	Le Longsols	6.454	3.500	55	49	151	2.41	1.48	183	138	45	20	0.55	184.8	0.8	1.5	
HG208	Le Meldancon	6.701	3.331	62	70	138	2.66	2.43	198	131	67	20	0.47	292.0	0.8	1.5	
HG208	Le Puits	6.955	4.056	51	44	164	1.49	1.14	197	156	41	150	1.92	41.4	1.6	3.0	
HG208	L'Huitrelle	6.412	3.844	47	16	196	5.89	2.54	206	196	16	230	3.68	68.8	1.6	3.0	
HG208	L'Herbissonne	5.053	2.851	47	52	168	9.08	9.08	217	168	52	6	0.18	3336.5	0.7	1.2	
HG208	La Barbuise	5.505	3.084	51	37	136	7.70	6.41	172	136	37	28	0.39	929.6	1.4	2.6	
HG208	La Vaure	5.183	2.674	56	54	168	5.51	2.24	222	168	54	10	0.27	736.4	0.0	0.0	
HG208	La Superbe	5.027	2.562	57	2	161	4.83	1.88	159	161	2	300	2.27	66.1	3.0	5.8	
HG208	La Maurienne	5.041	2.657	52	58	163	1.87	0.70	220	162	58	0	0.00	0.0	0.0	0.0	
HG208	Le Salon	3.856	1.857	52	57	140	4.54	3.03	179	127	52	10	0.37	501.3	0.0	0.0	
HG208	La Guenelle	7.742	4.607	56	51	129	4.00	0.12	147	105	42	0	0.00	0.0	0.0	0.0	
HG208	La Coole	6.629	3.630	53	26	128	3.73	2.09	194	128	26	15	0.26	470.5	1.4	2.8	
HG208	La Somme Soude	5.478	2.958	52	43	151	3.83	1.53	174	135	39	0	0.00	0.0	3.0	5.7	
HG208	La Somme	5.246	2.417	54	44	178	3.56	1.36	223	179	45	6	0.09	1431.8	1.4	2.7	
HG208	la Soude	6.360	3.345	54	82	134	3.06	2.45	215	134	82	30	0.73	190.4	1.1	2.0	
HG208	Le Petit Morin	6.200	3.659	63	92	64	5.11	1.00	146	64	92	300	2.22	21.3	1.9	3.7	
HG209	L'Ardusson	5.629	3.226	49	15	118	9.81	3.78	132	118	15	90	1.50	158.7	1.0	1.9	
HG209	La Vanne	9.144	6.229	64	3	140	1.27	0.64	220	140	3	424	3.19	13.5	0.0	5.6	
HG209	La Vanne	9.902	6.721	66	28	275	6.85	0.25	206	275	28	2200	6.62	27.0	7.4	13.7	
HG209	L'Oreuse	9.521	6.685	65	56	130	1.31	0.00	160	112	48	60	1.96	87.1	0.7	1.2	
HG210	Le Tholon	9.282	6.688	57	0	179	1.17	0.39	228	147	81	250	4.98	7.9	0.7	1.5	
HG210	Le Loing	6.987	4.419	0	80	103	2.25	0.27	182	81	101	0	0.00	0.0	0.0	0.0	
HG210	Le Loing	5.668	2.881	58	103	45	7.73	4.88	158	45	103	265	1.69	58.9	1.8	2.9	
HG210	L'Aveyron	5.416	2.398	58	126	22	27.48	20.50	133	22	126	45	1.22	155.6	0.2	0.4	
HG210	L'Ouagne	7.452	4.431	67	83	106	5.40	0.26	185	106	83	840	3.93	14.4	0.8	2.6	
HG210	L'Ouagne	7.081	3.996	65	65	92	5.78	0.84	165	89	75	1620	4.87	14.2	1.4	3.7	
HG210	La ClUry	5.222	2.231	55	20	150	7.81	3.59	165	150	20	700	6.85	39.0	0.5	1.2	
HG210	Le Betz	4.495	1.769	52	15	103	5.02	5.02	113	103	15	130	2.24	92.0	0.4	0.7	
HG210	Le Lunain	5.969	2.486	59	27	70	0.61	0.61	94	70	27	180	2.79	6.1	0.2	0.6	
HG210	Le Lunain	7.008	3.442	59	7	92	24.77	0.31	127	92	7	450	4.67	42.4	0.6	1.2	
HG210	L'Orvanne	7.063	3.404	62	12	114	4.75	0.50	120	89	31	180	4.21	15.0	0.2	0.3	
HG210	Ruisseau d'Ocques	6.601	3.579	64	64	133	1.29	0.00	135	91	44	210	8.16	21.1	0.6	1.0	
HG210	Ru de Bourienne	8.576	5.232	61	75	129	3.68	0.00	145	92	53	100	10.49	45.3	0.4	0.7	
HG210	Ru de Montgerin	9.415	6.073	58	81	123	16.66	0.00	146	88	58	125	8.53	240.8	0.2	0.3	
HG210	Ru de Collemiers	9.465	6.513	58	68	126	4.37	0.00	128	83	45	50	9.18	60.0	0.3	0.4	

Connaissance des ressources réellement disponibles sur l'ensemble des bassins versants crayeux
Bassin Seine-Normandie en Champagne-Ardenne

principaux résultats sur les bassins versants non jaugés											Peff avec corrélation				avec ETP Moyenne							
codif	MES	surf2	IDPR_moy	ruogo_moy	rugom_2	pente2_m	p_aur_moy	P_moy_sal	PEff_Aur	peff_safra	Peff_etude	rech_idpr	rech_MF	rui_MF	Peff2_etude	rech2_idpr	rui2_idpr	moy_prevl	moy_pi	ratio_prev_rec	ratio_irr_rec	
701	HG207	22.3	579	4.80	4.80	2.12	714	689	182	114	102	73	29	67	46	169	123	46				
702	HG207	84.9	524	5.52	5.52	2.77	724	692	188	136	113	84	29	92	53	179	136	44				
703	HG207	18.0	161	6.41	6.41	2.74	739	695	196	120	127	118	9	74	52	194	183	11				
704	HG207	17.8	222	4.90	4.90	2.73	700	691	174	163	178	160	18	113	58	155	141	13				
705	HG207	66.1	366	5.00	5.00	2.58	646	669	143	131	148	121	27	93	44	101	82	18	840320	125090	10.53	1.57
706	HG207	13.1	199	8.58	8.58	4.81	707	742	178	197	182	166	17	133	60	162	150	12				
707	HG207	38.9	881	9.37	9.38	4.27	825	839	245	231	248	138	110	161	66	280	160	120				
708	HG207	21.0	223	6.93	6.93	3.59	716	717	183	170	187	166	21	122	58	171	152	19	33694	0	0.96	0.00
709	HG207	205.3	497	9.24	9.24	5.00	770	785	214	240	218	164	54	160	68	225	169	56	446952	22777	1.33	0.07
710	HG207	34.0	1044	9.96	9.96	5.82	931	953	305	394	308	147	161	282	97	386	185	202	43516	0	0.87	0.00
712	HG207	55.0	746	12.04	12.04	7.08	847	895	257	335	261	164	97	226	83	302	189	113	105683	0	1.18	0.00
713	HG207	62.8	807	12.93	12.42	9.45	850	889	259	378	262	156	107	270	90	305	186	119				
714	HG207	34.0	1143	12.22	12.22	7.60	907	938	291	363	295	124	171	257	89	362	158	204				
716	HG207	16.9	782	8.88	8.88	5.40	806	833	234	276	238	145	93	165	66	261	159	102	68905	0	2.82	0.00
717	HG207	785.7	457	5.27	5.27	2.63	700	713	174	191	178	137	41	153	53	155	119	35	21665900	697720	20.06	0.65
719	HG207	332.8	385	5.80	5.80	3.18	728	753	190	215	194	157	37	157	54	183	148	35	1515730	693747	2.90	1.33
720	HG207	15.8	814	9.31	9.31	5.06	772	749	215	215	219	129	90	146	64	227	138	89				
721	HG207	793.9	386	5.64	5.64	3.06	721	736	186	195	190	153	37	151	52	176	142	34	4583340	403020	3.76	0.33
722	HG207	73.3	970	6.47	6.47	3.35	812	877	238	325	241	123	118	218	79	267	140	127				
723	HG207	26.9	435	10.63	10.63	6.68	739	756	196	219	200	156	44	157	57	194	151	42	14868	0	0.35	0.00
726	HG207	27.4	778	9.22	9.22	5.55	729	754	191	217	195	119	76	153	59	184	113	72	92895	0	2.85	0.00
727	HG207	18.6	983	8.10	8.10	4.49	757	749	206	211	210	107	103	147	58	212	108	104	24359	0	1.22	0.00
728	HG207	19.0	883	8.84	8.84	5.15	766	757	212	226	216	120	95	162	60	221	124	98	77269	0	3.38	0.00
729	HG207	51.7	634	10.33	8.00	6.32	786	765	223	231	227	155	72	169	58	241	168	72				
730	HG207	48.1	485	12.27	12.27	7.03	827	785	246	243	249	189	61	182	61	282	213	68	16614	0	0.18	0.00
733	HG207	13.3	779	10.22	10.22	6.21	802	768	232	231	236	144	92	171	60	257	157	100	10329	0	0.54	0.00
734	HG207	15.2	852	11.16	11.16	7.29	814	764	239	228	242	139	103	163	61	269	155	115	8050	0	0.38	0.00
735	HG207	67.3	574	9.09	9.09	4.91	853	846	261	257	264	189	76	195	67	308	220	88	11368	0	0.09	0.00
736	HG207	123.8	532	8.77	8.77	4.60	860	816	265	250	268	197	71	193	63	315	231	84	186081	68943	0.76	0.28
737	HG207	36.5	689	10.06	10.06	6.02	842	769	255	263	258	169	89	201	70	297	195	102	26204	0	0.42	0.00
738	HG207	196.6	566	7.91	7.91	4.00	850	764	259	261	263	188	74	208	68	305	219	86	248173	14509	0.67	0.04
739	HG207	54.0	679	8.57	8.57	4.53	847	803	258	268	261	173	89	213	70	302	200	103	60667	0	0.65	0.00
740	HG207	41.8	873	9.90	9.90	5.73	862	810	266	277	269	152	118	215	79	317	179	138	27433	0	0.43	0.00
741	HG207	18.1	1006	6.28	6.28	3.15	886	759	279	256	283	140	142	201	72	341	169	171	78232	0	3.08	0.00
742	HG207	12.3	892	8.56	8.56	4.31	882	748	277	256	281	154	126	201	73	337	191	146				
743	HG207	14.9	1248	7.52	7.52	3.85	870	780	270	262	274	103	171	203	71	325	122	203	8672	0	0.57	0.00
744	HG207	18.7	915	7.68	7.68	3.53	844	788	255	267	259	140	118	208	70	299	162	137	8301	0	0.32	0.00
801	HG208	10.1	593	7.49	7.49	4.91	714	732	182	203	103	72	30	158	61	159	115	44				
802	HG208	19.1	536	8.15	8.15	4.90	718	724	184	202	188	138	50	149	61	163	119	44	3860	3860	0.15	0.15
803	HG208	12.8	673	6.90	6.90	4.01	712	717	181	202	185	123	62	151	61	157	104	53	204954	0	13.03	0.00
804	HG208	16.7	544	4.88	4.88	2.33	700	716	174	190	178	130	49	146	61	145	106	39	34816	34816	1.61	1.61
805	HG208	110.0	658	4.36	4.36	1.99	719	711	185	166	189	127	62	122	58	164	110	54	350779	350779	2.52	2.52
806	HG208	168.1	728	4.72	4.72	2.38	786	730	223	193	227	144	82	147	60	231	147	84	797747	225970	3.29	0.93
807	HG208	11.0	354	3.25	3.25	1.25	684	676	165	123	169	140	29	80	49	129	109	20				
808	HG208	413.4	571	4.37	4.37	2.09	750	716	202	188	206	148	59	143	55	195	139	56	2393530	1314870	3.92	2.16
809	HG208	11.0	305	6.51	6.51	2.89	830	748	248	197	252	215	37	161	59	275	240	36				
810	HG208	40.6	161	4.18	4.18	2.33	700	689	174	177	178	164	14	140	50	145	133	12	636312	546525	9.56	8.21
811	HG208	28.1	318	4.10	4.10	2.24	714	684	182	140	186	156	30	96	45	159	134	25	770407	555898	17.55	12.66
812	HG208	16.7	188	5.14	5.14	2.47	730	707	191	178	195	179	17	136	52	175	163	12				
813	HG208	10.1	595	4.09	4.09	1.54	715	709	183	168	187	132	55	135	51	160	115	45				
814	HG208	12.5	275	6.45	6.45	4.96	709	690	179	170	183	158	25	124	50	154	132	21	70531	0	3.56	0.00
815	HG208	34.0	868	11.76	11.76	8.86	747	734	201	163	205	116	89	128	53	192	109	83	417369	0	10.58	0.00
816	HG208	23.1	346	4.12	4.12	1.72	711	709	180	170	185	154	31	135	51	156	133	24				
817	HG208	21.0	246	6.91	6.91	4.64	710	698	180	189	184	161	23	143	53	155	136	19	34533	0	1.02	0.00
818	HG208	96.9	409	4.90	4.90	2.75	735	691	194	168	198	158	40	125	47	180	144	37	1334760	1334760	8.73	8.73
819	HG208	487.1	433	5.18	5.18	2.55	746	721	200	196	204	160	44	160	52	191	150	41	2271210	1366020	2.91	1.75
820	HG208	137.6	357	6.06	6.06	3.46	722	695	186	180	190	156	34	137	51	167	137	30	1458010	1190060	6.77	5.53
821	HG208	23.1	372	6.08	6.08	3.18	713	694	182	188	186	151	35	132	59	158	129	29	197966	0	5.68	0.00
822	HG208	25.7	226	4.53	5.60	2.58	709	687	179	156	184	164	19	121	50	154	141	14				
823	HG208	59.4	431	7.05	7.05	4.23	640	725	140	187	145	113	31	148	53	85	67	18	311977	159792	4.63	2.37
824	HG208	13.5	300	5.37	5.37	3.26	714	689	182	160	186	158	28	114	48	159	135	24	126785	83414	5.95	3.92
825	HG208	11.3	916	5.65	5.65	2.73	722	692	187	153	191	103	88	103	56	167	93	75				

Connaissance des ressources réellement disponibles sur l'ensemble des bassins versants crayeux
Bassin Seine-Normandie en Champagne-Ardenne

		principaux résultats sur les bassins versants non jaugés										Peff avec corrélation				avec ETP Moyenne						
codif	MES	surf2	IDPR_moy	rujo_moy	rujom_2	pen2_m	p_aur_moy	P_moy_sat	PEff_Aur	peff_safr	Peff_etude	rech_idpr	ruj_idpr	rech_MF	ruj_MF	Peff2_etude	rech2_idpr	ruj2_idpr	moy_prev	moy_pi	ratio_prev_rec	ratio_irr_rec
826	HG208	10.1	278	4.64	4.64	3.39	709	682	179	142	183	158	25	102	46	154	132	21	136542	136542	8.58	8.58
827	HG208	18.4	391	7.85	7.85	4.56	740	692	197	153	201	163	38	103	56	185	153	32				
828	HG208	65.4	353	4.06	4.06	2.06	676	710	160	182	165	136	29	148	50	121	100	21	77576	29557	0.87	0.33
829	HG208	192.6	391	6.25	6.25	3.80	756	702	206	167	210	169	41	121	47	201	162	39	1892790	814400	5.82	2.50
830	HG208	30.9	301	6.41	6.41	3.62	729	697	190	181	195	165	29	138	51	174	148	26	102274	81381	2.00	1.59
831	HG208	24.2	270	4.70	4.70	2.57	635	714	137	191	142	123	19	148	50	80	69	11	312187	15213	10.52	0.51
832	HG208	49.0	553	6.93	6.93	3.65	751	696	203	181	207	150	57	129	57	196	142	54	225472	114225	3.07	1.56
833	HG208	19.9	201	4.77	4.77	2.36	654	709	148	203	152	137	15	162	54	99	89	10	89291	78151	3.27	2.86
834	HG208	32.7	452	5.53	5.53	2.86	665	714	154	194	159	123	36	156	52	110	85	25	50098	50098	1.25	1.25
835	HG208	152.2	381	6.58	6.58	3.61	695	721	171	197	175	142	33	161	53	140	113	27	712073	398286	3.30	1.84
836	HG208	11.1	798	6.71	6.71	3.72	751	686	203	159	207	124	83	104	61	196	121	76				
837	HG208	22.0	210	5.01	5.01	2.77	652	711	147	179	151	135	16	145	50	97	87	10	289664	289664	9.74	9.74
838	HG208	18.3	415	6.01	6.02	3.43	670	713	157	207	161	129	33	170	56	115	93	21				
839	HG208	199.9	418	7.02	7.02	4.10	752	724	204	185	208	164	43	144	51	197	156	41	496851	378365	1.51	1.15
840	HG208	15.0	256	6.28	6.28	3.80	665	715	154	193	158	138	20	156	52	110	96	14	32125	32125	1.55	1.55
841	HG208	24.3	472	6.04	6.04	3.67	671	719	157	212	162	124	38	172	54	116	88	27	475643	8221	15.83	0.27
842	HG208	37.9	382	6.86	6.86	4.14	686	716	166	195	170	138	33	158	53	131	106	25	106070	0	2.03	0.00
843	HG208	25.6	506	7.66	7.66	5.11	713	722	181	200	185	139	47	161	54	158	118	40	33277	5479	0.94	0.15
844	HG208	24.4	295	6.23	6.23	3.98	677	721	161	214	166	141	24	172	54	122	104	18	19197	19197	0.56	0.56
845	HG208	60.7	588	7.04	7.04	3.57	764	705	210	184	214	151	63	128	62	209	147	61	619133	619133	6.75	6.75
846	HG208	18.4	574	9.24	9.24	5.86	728	720	190	189	194	139	56	148	54	173	124	50	9715	0	0.38	0.00
847	HG208	132.9	652	6.52	6.52	3.34	753	714	204	190	208	140	68	141	59	198	133	64	760353	604753	4.08	3.25
848	HG208	62.6	597	9.62	9.62	5.72	747	720	200	184	204	143	61	138	61	192	134	57	117634	6611	1.31	0.07
849	HG208	32.3	1205	5.20	5.20	2.13	751	723	203	178	207	82	125	117	69	196	78	118	57500	0	2.17	0.00
850	HG208	151.8	429	8.31	8.31	5.46	767	730	212	227	216	170	46	185	58	212	167	46	478099	192641	1.86	0.75
851	HG208	14.8	849	5.11	5.11	2.17	777	762	218	218	222	128	94	159	67	222	128	94	78044	78044	4.14	4.14
852	HG208	127.2	542	9.48	9.48	6.56	750	725	202	218	206	150	56	171	61	195	142	53	663493	25633	3.47	0.13
901	HG209	11.2	174	6.41	6.41	4.28	682	689	164	148	168	153	15	135	54	127	116	11	163129	15840	9.47	0.92
902	HG209	63.2	538	7.95	7.95	5.22	706	754	177	242	182	133	49	194	65	151	110	41	170844	0	2.04	0.00
903	HG209	20.9	571	9.93	9.93	7.75	750	752	202	194	206	147	59	157	59	195	139	56	263566	93443	8.56	3.04
904	HG209	35.1	627	9.97	9.97	7.28	718	763	184	230	189	129	59	173	66	163	112	51	935432	191205	20.57	4.21
905	HG209	28.7	764	9.62	9.62	6.21	781	774	220	203	224	138	85	141	61	226	139	86	572980	69562	14.47	1.76
906	HG209	26.4	513	10.42	10.42	7.67	725	747	188	229	192	143	49	157	63	170	126	44	109909	34505	2.92	0.92
907	HG209	88.1	633	9.40	9.40	6.72	714	764	182	232	186	127	59	174	64	159	109	50	316680	133751	2.83	1.19
908	HG209	26.0	667	10.53	10.53	7.10	783	776	221	187	225	150	75	131	63	228	152	76	1708240	87924	43.75	2.25
909	HG209	36.7	538	8.14	8.14	5.18	702	716	175	187	180	131	48	145	58	147	108	40	140651	0	2.92	0.00
910	HG209	18.9	912	10.11	10.11	7.65	751	761	203	187	207	112	94	128	62	196	106	89	32244	0	1.52	0.00
911	HG209	110.0	636	10.13	10.13	6.31	818	780	241	224	245	167	78	168	60	263	179	84	1125520	31776	6.13	0.17
912	HG209	18.7	513	9.32	9.32	6.79	731	760	191	187	196	145	50	125	62	176	131	45	135121	29804	4.96	1.09
913	HG209	15.3	365	5.70	5.70	3.10	709	680	179	147	184	150	34	111	53	154	126	28	351030	468568	15.25	20.36
914	HG209	20.4	636	8.98	8.98	6.10	728	761	190	202	194	133	62	133	63	173	121	52				
915	HG209	13.8	322	9.15	9.15	6.37	741	771	197	215	201	169	32	154	66	186	156	30	37250	0	1.59	0.00
916	HG209	27.5	399	6.75	6.75	4.01	736	692	194	177	125	100	24	144	55	181	149	32				
917	HG209	26.9	540	10.00	10.00	6.84	774	772	216	219	220	161	59	159	66	219	160	59	33378	0	0.77	0.00
918	HG209	142.9	491	7.22	7.22	4.54	710	731	180	204	184	139	45	159	60	155	117	38	606359	234891	3.05	1.18
919	HG209	16.8	608	10.02	10.02	7.56	786	767	223	216	227	158	69	151	65	231	165	66				
920	HG209	166.2	463	5.65	5.65	3.29	710	688	180	164	184	142	43	127	49	155	119	36	2128880	983792	9.05	4.18
921	HG209	979.2	521	9.68	9.68	6.60	770	769	213	235	217	161	57	180	64	215	159	56	22000000	655847	13.97	0.42
922	HG209	23.5	586	10.94	10.94	8.21	821	773	243	216	246	174	72	153	68	266	188	78	113902	0	2.78	0.00
923	HG209	10.2	416	10.14	10.14	7.54	798	762	230	211	233	185	49	139	68	243	192	51	47532	0	2.52	0.00
924	HG209	17.6	712	10.69	10.69	7.62	820	764	242	207	246	158	88	139	69	265	175	90				
925	HG209	10.6	165	4.06	4.06	2.08	683	682	164	159	169	155	14	124	48	128	117	11	232870	97442	14.26	5.97
926	HG209	12.6	452	9.09	9.09	6.08	812	769	238	208	241	187	55	138	69	257	199	58	71282	0	3.04	0.00
927	HG209	17.8	139	3.60	3.60	1.76	692	690	169	174	174	162	12	137	50	137	128	10	115404	99256	4.00	3.44
928	HG209	13.4	585	9.00	9.00	5.72	806	777	234	215	238	168	70	153	68	251	178	73	133866	0	5.92	0.00
929	HG209	21.2	463	10.64	10.64	7.16	847	774	257	219	261	200	60	155	66	292	224	68	40951	0	0.96	0.00
930	HG209	11.0	376	4.34	4.34	2.73	692	688	170	162	174	141	33	120	52	137	111	26	455030	231420	29.40	14.95
931	HG209	13.2	294	11.33	11.33	8.50	857	775	263	221	266	227	39	160	63	302	257	44	91157	0	3.05	0.00
932	HG209	10.9	180	5.74	5.74	3.30	690	686	168	165	173	159	14	120	52	135	127	9				
933	HG209	17.8	187	5.39	5.39	2.81	688	688	167	166	172	155	16	124	53	133	120	12	152799	117140	5.53	4.24
934	HG209	11.4	295	5.47	5.47	3.41	693	698	170	175	174	150	24	136	55	138	121	17				
935	HG209	14.2	217	6.08	6.07	4.18	693	699	170	183	174	157	17	13								

Connaissance des ressources réellement disponibles sur l'ensemble des bassins versants crayeux
Bassin Seine-Normandie en Champagne-Ardenne

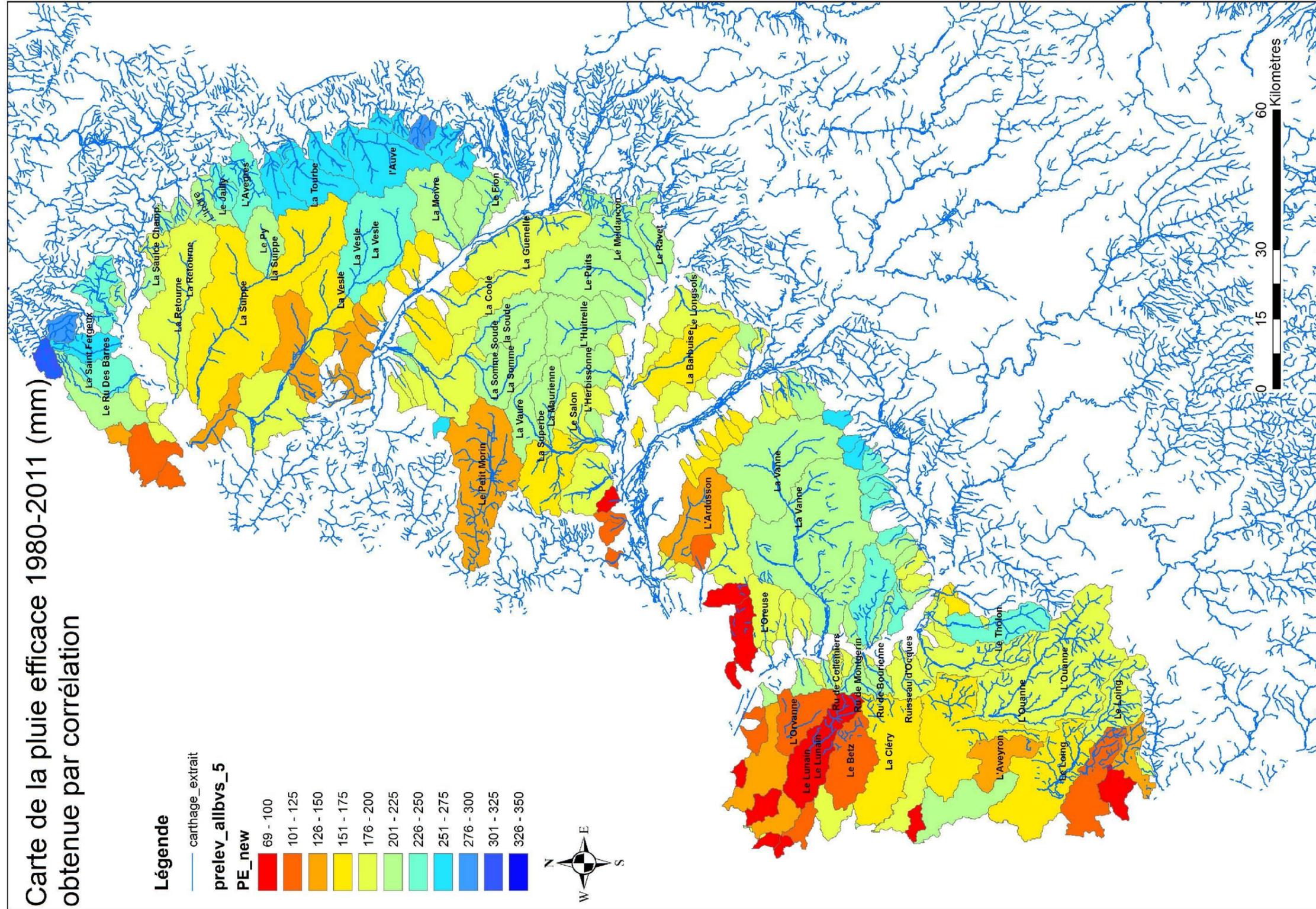
principaux résultats sur les bassins versants non jaugés											Peff avec corrélation			avec ETP Moyenne								
codif	MES	surf2	IDPR_moy	ruغو_moy	rugom_2	pente2_m	p_aur_moy	P_moy_saf	PEff_Aur	peff_safra	Peff_etude	rech_idpr	ru_i_idpr	rech_MF	ru_i_MF	Peff2_etude	rech2_idpr	ru_i2_idpr	moy_prev	moy_pi	ratio_prev_rec	ratio_irr_rec
937	HG209	20.6	476	5.95	5.95	4.12	704	694	176	178	180	137	43	113	60	149	113	35	376592	0	13.34	0.00
938	HG209	29.0	687	5.37	5.37	2.93	705	689	177	150	181	119	62	97	58	150	98	51	266513	0	7.73	0.00
939	HG209	57.5	567	7.51	7.51	4.33	757	721	207	167	211	151	60	119	62	202	145	57	621427	0	7.16	0.00
1001	HG210	10.7	361	8.84	8.84	4.04	694	710	85	134	82	68	14	71	57	94	79	15				
1002	HG210	12.7	537	5.34	5.34	2.63	686	706	78	100	74	54	20	56	55	86	65	22				
1003	HG210	32.8	84	5.69	5.69	2.31	714	702	102	135	102	99	3	77	55	114	112	2				
1004	HG210	19.2	309	4.99	4.99	1.70	687	676	79	119	75	64	11	86	51	87	76	11				
1005	HG210	36.0	277	6.43	6.43	2.90	704	705	94	136	92	80	12	78	57	104	92	12				
1006	HG210	75.8	358	5.23	5.23	2.19	715	682	104	142	187	153	33	97	49	115	95	21	107915	107915	0.93	0.93
1007	HG210	52.6	1077	4.91	4.91	1.98	696	722	87	178	84	38	46	132	51	96	45	51				
1008	HG210	154.1	1240	4.30	4.30	1.72	734	750	120	180	197	75	122	132	51	134	51	83	62135	0	0.54	0.00
1009	HG210	203.1	703	4.79	4.79	1.92	730	695	116	165	195	126	68	116	52	130	84	46	808494	808494	3.15	3.15
1010	HG210	12.3	249	7.60	7.60	4.11	684	678	75	129	71	63	8	83	50	84	75	8				
1011	HG210	220.6	574	6.27	6.27	2.78	734	718	120	179	197	141	57	127	59	134	95	38	49220	49220	0.16	0.16
1012	HG210	10.9	955	6.19	6.19	2.99	724	765	111	199	192	99	93	152	61	124	66	58				
1013	HG210	65.4	1112	6.09	6.10	3.13	755	763	139	193	144	63	81	144	57	155	70	85				
1014	HG210	273.2	711	5.21	5.21	2.22	742	704	128	186	202	130	72	140	55	142	92	51	3138630	1442010	8.82	4.05
1015	HG210	238.1	450	7.24	7.24	3.65	743	715	128	179	202	157	46	134	57	143	111	32	607797	64581	1.63	0.17
1016	HG210	1164.2	875	5.99	5.99	2.94	741	748	127	210	202	113	88	157	59	141	80	62	9508420	4781080	7.21	3.62
1017	HG210	24.2	181	8.11	8.11	4.97	714	672	103	147	186	170	17	114	44	114	104	10	203832	1817	4.97	0.04
1018	HG210	10.2	309	7.38	7.38	4.93	726	670	113	126	193	163	30	86	51	126	107	19	45734	0	2.74	0.00
1019	HG210	11.1	357	8.20	8.20	5.60	749	676	133	136	206	169	37	120	55	149	122	27	52716	7074	2.82	0.38
1020	HG210	27.6	477	9.08	9.08	6.01	752	711	136	193	207	158	49	148	59	152	116	36	76388	0	1.75	0.00
1021	HG210	38.8	790	9.41	9.41	6.11	745	717	130	185	203	123	80	136	58	145	88	57	790883	0	16.56	0.00
1022	HG210	30.8	751	8.85	8.85	5.69	739	710	124	178	200	125	75	134	60	139	87	52	156476	6486	4.07	0.17
1023	HG210	75.4	672	7.12	7.12	4.18	733	746	119	206	197	131	66	155	64	133	88	45	461551	0	4.69	0.00
1024	HG210	13.0	761	9.93	9.94	7.14	741	697	126	179	201	124	77	132	59	141	89	51				
1025	HG210	14.3	240	9.50	9.50	6.63	733	684	119	166	197	173	24	120	57	133	117	16	232297	0	9.41	0.00
1026	HG210	18.3	800	8.61	8.61	5.70	720	687	108	167	189	114	76	122	57	120	72	48	78879	0	3.80	0.00
1027	HG210	12.0	604	8.67	8.67	5.33	715	677	103	151	187	130	56	104	57	115	80	35	41389	0	2.66	0.00
1028	HG210	171.0	869	7.64	7.64	4.53	738	763	124	208	200	113	87	153	60	138	78	60	629533	0	3.26	0.00
1029	HG210	15.8	405	9.00	9.00	6.19	706	684	95	151	182	145	37	106	57	106	85	22	46724	0	2.04	0.00
1030	HG210	76.0	691	7.05	7.05	4.97	706	692	95	154	181	119	63	104	56	106	69	36	488010	126973	5.40	1.41
1031	HG210	62.1	577	6.12	5.12	3.78	716	699	104	162	187	134	54	107	56	116	84	31				
1032	HG210	22.7	449	5.83	5.83	3.43	685	697	76	165	170	132	38	110	58	85	66	19	4937	4937	0.17	0.17
1033	HG210	23.6	424	7.83	7.83	4.94	690	696	81	169	173	137	36	112	57	90	73	17				

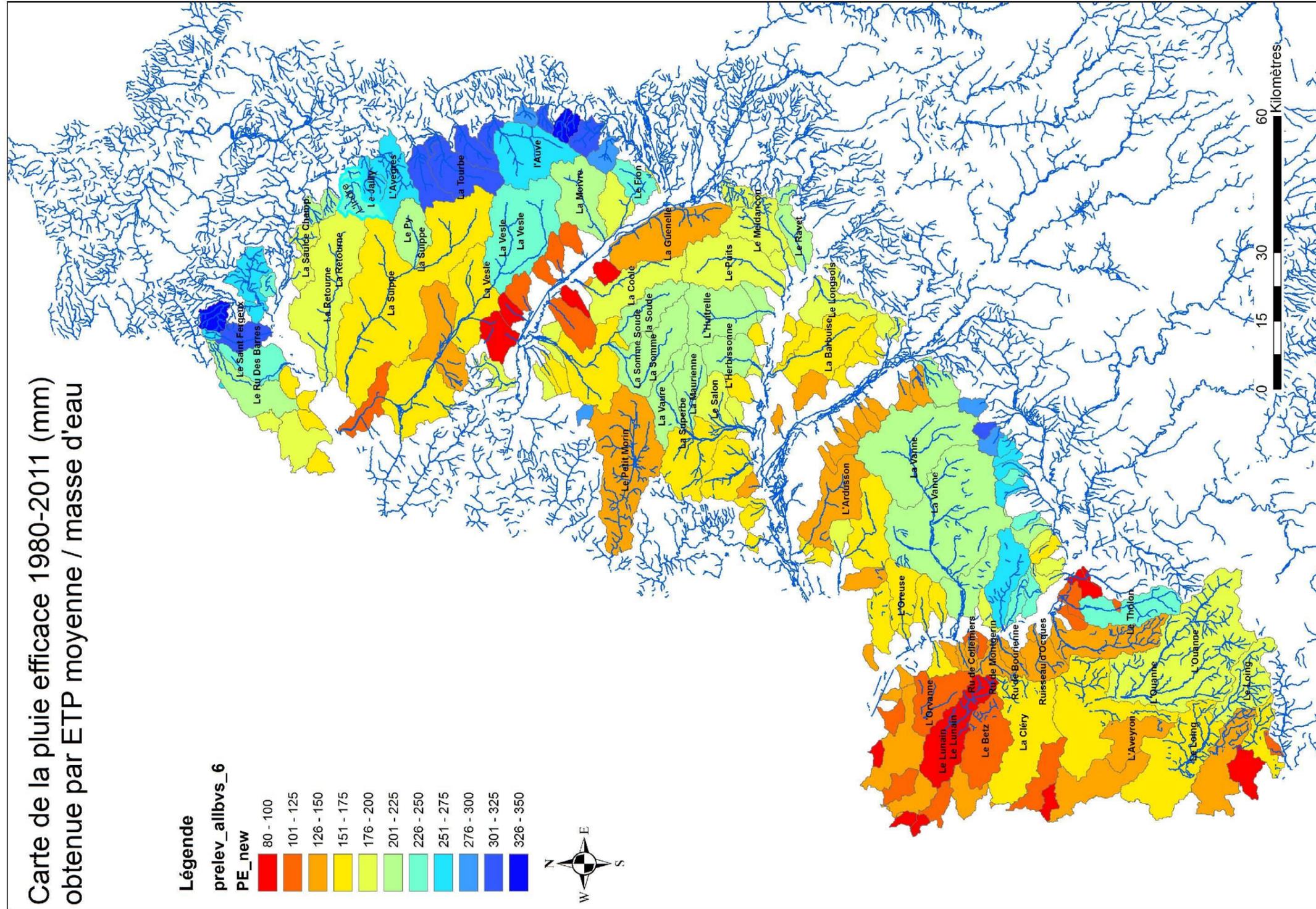
Annexe 3

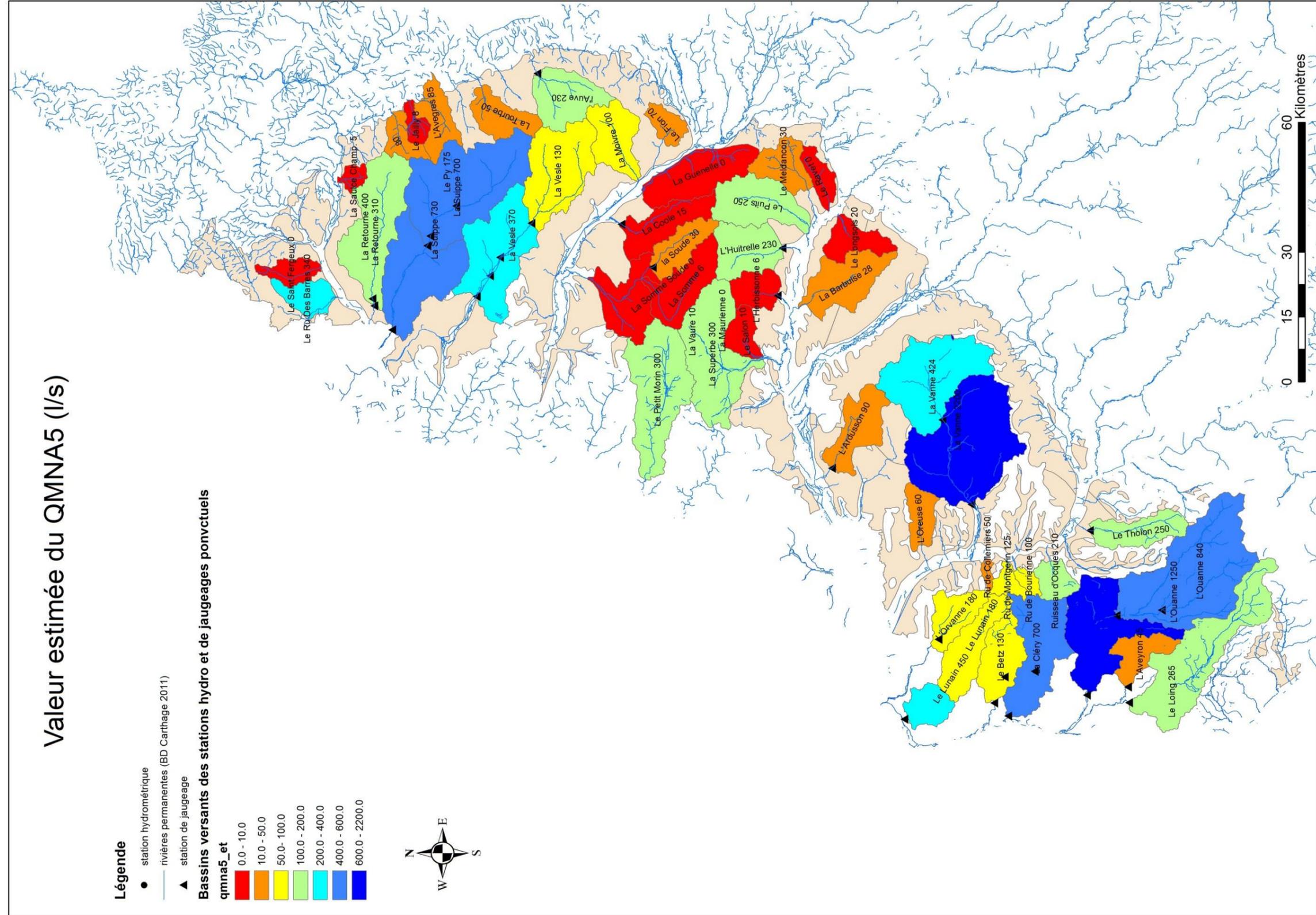
-

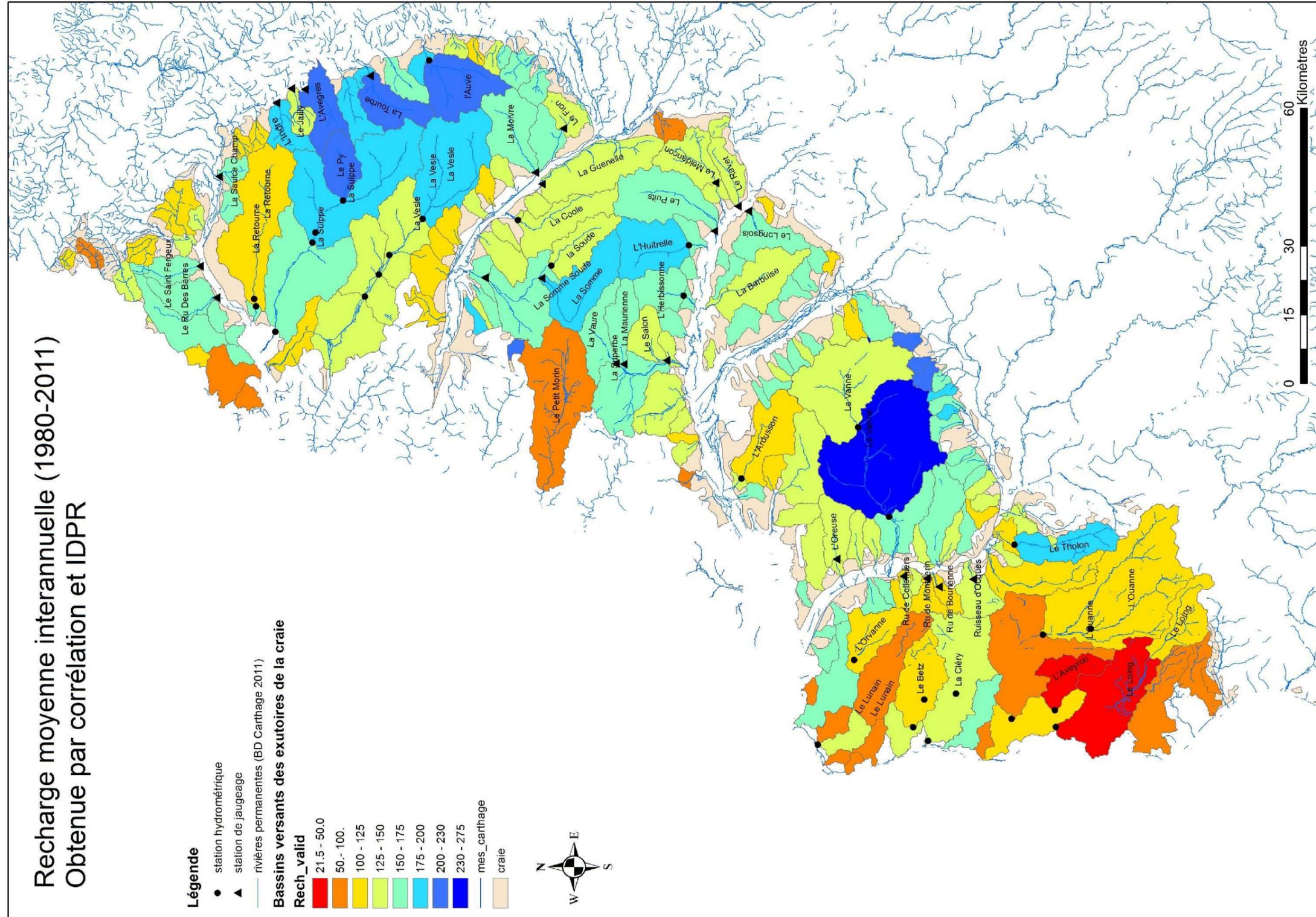
Agrandissements des cartes présentant les principaux résultats

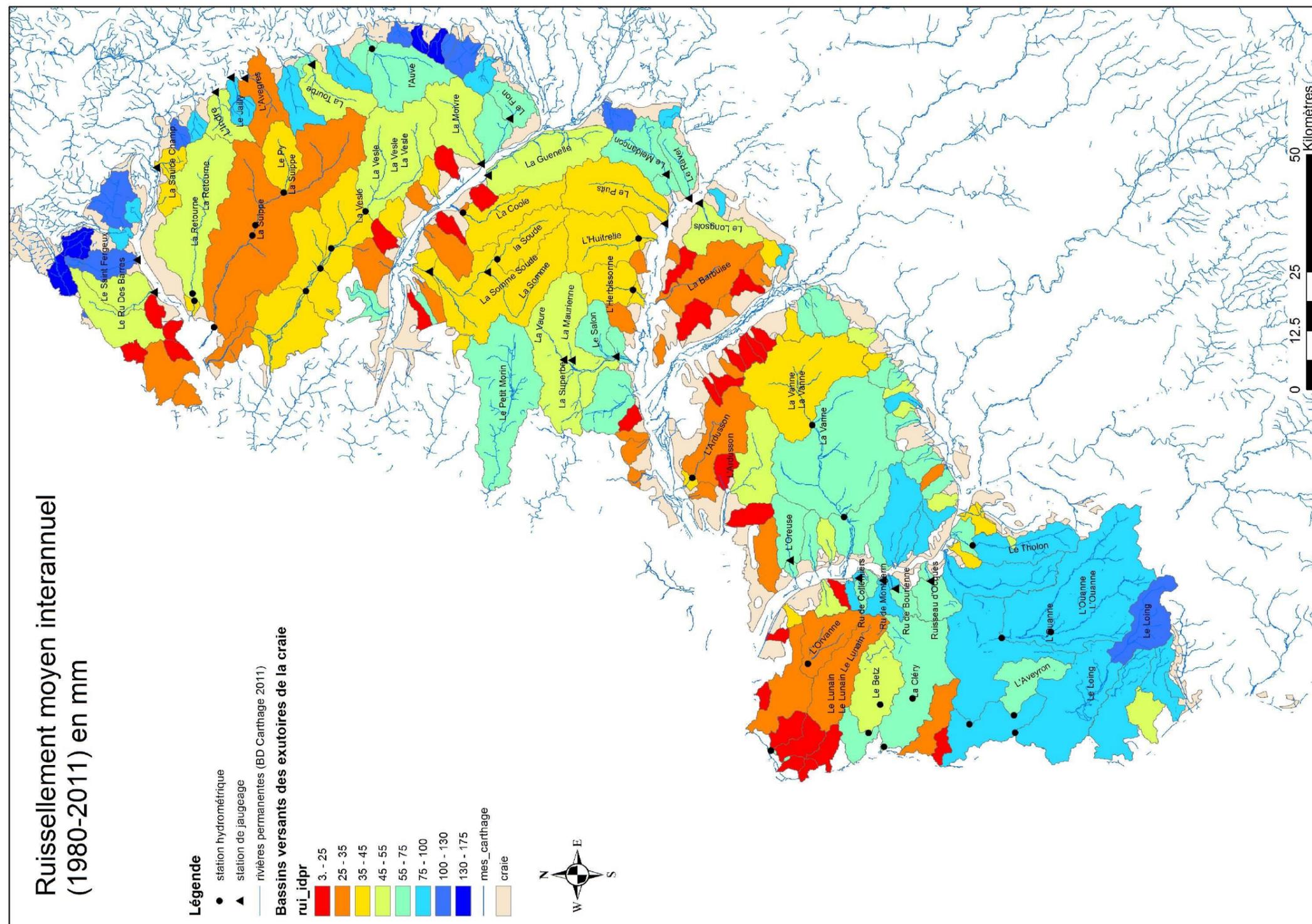
Connaissance des ressources réellement disponibles sur l'ensemble des bassins versants crayeux
Bassin Seine-Normandie en Champagne-Ardenne

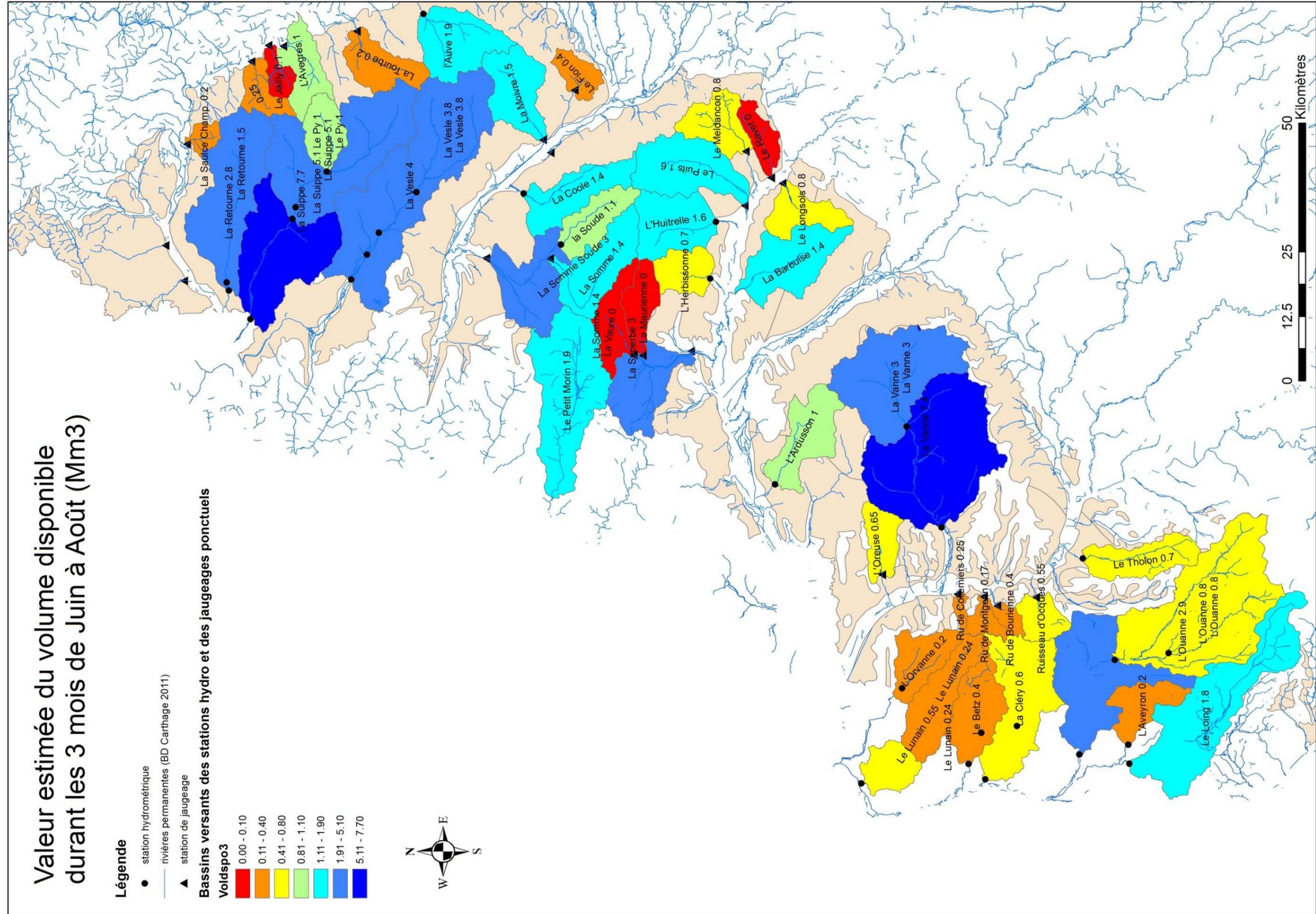


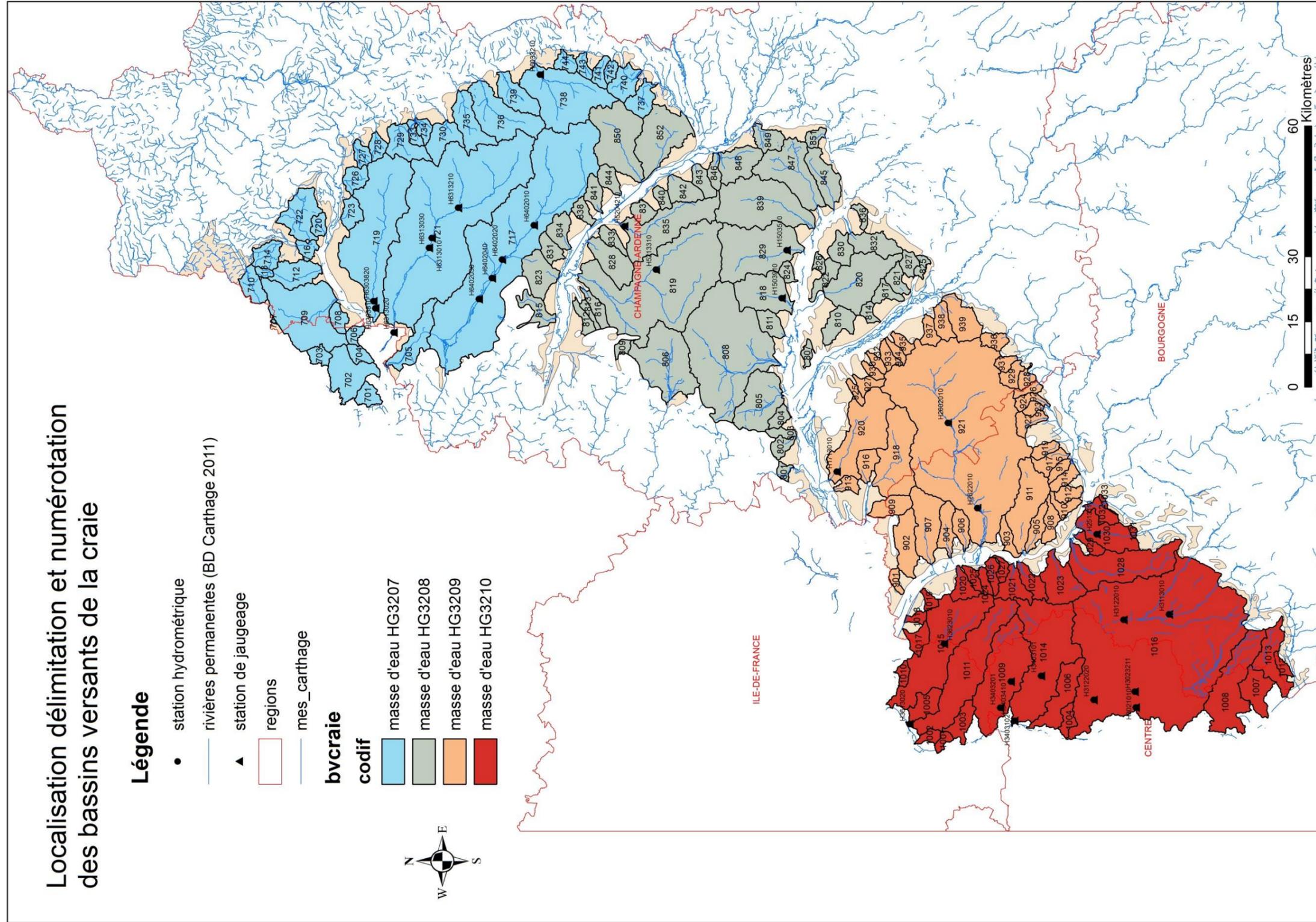














Géosciences pour une Terre durable

brgm

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

Direction Régionale Champagne-Ardenne
12, rue clément Ader
BP 137 – 51685 REIMS Cedex 2 – France
Tél. : 03 26 84 47 70