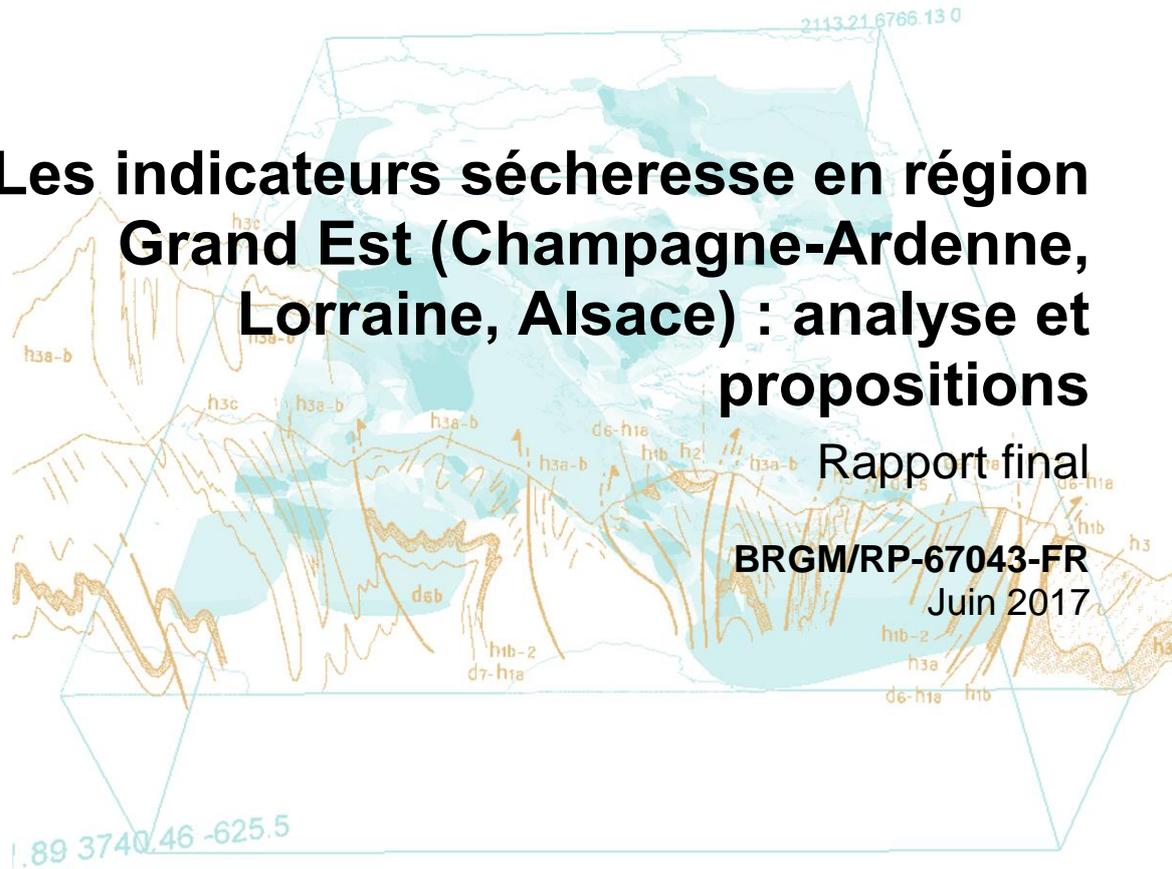


Les indicateurs sécheresse en région Grand Est (Champagne-Ardenne, Lorraine, Alsace) : analyse et propositions

Rapport final

BRGM/RP-67043-FR

Juin 2017



Les indicateurs sécheresse en région Grand Est (Champagne-Ardenne, Lorraine, Alsace) : analyse et propositions

Rapport final

BRGM/RP-67043-FR

Juin 2017

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

T. KLINKA, JJ. SEGUIN

Avec la collaboration de **G. FOURNIQUET**



Vérificateur :

Nom : Laurence Gourcy

Fonction :

Date : 13/07/2017

Signature :

Approbateur :

Nom : Dominique Midot

Fonction : Directeur régional Grand
Est

Date : 30/08/17

Signature :

Le système de management de la qualité et de l'environnement
est certifié par AFNOR selon les normes ISO 9001 et ISO 14001.



Mots-clés : Indicateurs, Sécheresse, Eau souterraine, Champagne-Ardenne, Lorraine, Alsace

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

Klinka T., Seguin J.J., Fourniguet G. (2017) – Les indicateurs sécheresse en région Grand Est (champagne Ardenne, Lorraine, Alsace) : analyse et propositions. Rapport final. BRGM/RP-67043-FR, 203 p., 132 ill., 39 tabl., 4 ann., 1 CD.

Synthèse

En France, le dispositif de préservation de la ressource en eau (souterraine et de surface) est principalement encadré par les articles L211-3, L214-7 et R211-66 à R211.70 du code de l'environnement, ainsi que par la circulaire du 18 mai 2011 relative aux mesures exceptionnelles de limitation ou de suspension provisoire des usages de l'eau en période de sécheresse. Cette circulaire précise que l'objectif de préservation de la ressource en eau en cas de sécheresse passe nécessairement par l'utilisation de seuils de déclenchement débitmétriques ou piézométriques permettant de mettre en œuvre des mesures de restriction progressives et adaptées à la gravité de la situation.

Pour les eaux souterraines, l'objectif des services de l'État est donc de disposer d'un réseau piézométrique de suivi des nappes et de seuils piézométriques de référence qui soient bien adaptés au contexte hydrogéologique et à la dynamique des nappes et qui soient aussi bien corrélés aux impératifs de conciliation des usages prioritaires de l'eau et de préservation des milieux aquatiques en période de sécheresse.

Dans la région Grand-Est (réunissant les anciennes régions Champagne-Ardenne, Lorraine et Alsace), la déclinaison régionale de la politique de préservation de la ressource en eau en période de sécheresse n'est pas effectuée sur des critères identiques. C'est la raison pour laquelle la DREAL Grand Est, l'Agence de l'Eau Seine-Normandie et l'Agence de l'Eau Rhin-Meuse ont initié la présente étude ; celle-ci porte sur les nappes exploitées dans la région Grand Est (nappe d'Alsace exclue) et s'inscrit dans le cadre global d'une réflexion sur la pertinence des indicateurs sécheresse existant (seuils d'alerte, d'alerte renforcée et de crise) ainsi que sur les possibilités d'amélioration de ces indicateurs et du dispositif de surveillance du niveau des nappes.

- Pour la Champagne-Ardenne et la Lorraine, l'étude a comporté plusieurs phases.

La phase 1 est un état des lieux. Elle porte sur l'analyse des données existantes. Après le recueil des données relatives aux cours d'eau, aux nappes souterraines et aux prélèvements (données fournies par les partenaires du projet et par les bases de données publiques : HYDRO, ADES, BNPE, BSS, ...), les pressions de prélèvements sur les eaux souterraines sont évaluées, les problèmes d'usage survenus (notamment AEP) pour la période allant de 2000 à 2015 sont recensés ainsi que les secteurs des aquifères qui se sont montrés vulnérables aux épisodes de sécheresse. Les arrêtés sécheresse et les mesures de restriction sont analysés ainsi que les seuils piézométriques fixés pour déclencher une alerte. En Champagne-Ardenne, 3 seuils sont fixés : alerte, alerte renforcée et crise. En Lorraine, par contre, les niveaux des nappes n'interviennent pas pour évaluer la sévérité de la sécheresse et pour établir les arrêtés sécheresse. Les alertes sont déclenchées uniquement à partir de seuils débitmétriques définis dans les bassins versants de la Meuse, de la Moselle et de la Sarre et comportent 3 degrés : alerte, crise et crise renforcée.

Les données recueillies sont croisées avec le franchissement des seuils de déclenchement des mesures de restriction pour juger de l'adéquation de ces seuils avec l'état des nappes lors de leur déclenchement et avec les problèmes d'usage rencontrés. Le travail ne s'est pas limité aux périodes estivales et a pris en compte toutes les données disponibles. L'analyse est faite nappe par nappe pour prendre en compte le contexte hydrogéologique et les usages.

En s'appuyant sur les résultats de l'analyse historique effectuée en phase 1, la phase 2 s'attache à la recherche d'éventuelles inadéquations entre les mesures de restriction, les problèmes d'usage identifiés et l'état des ressources évalué à partir des "seuils sécheresse". En Champagne-Ardenne, les mesures de restriction prises en compte sont celles présentes dans la "doctrine" (Notice d'Orientation Régionale 2015) de la région et dans les arrêtés cadre départementaux ou interdépartementaux. Lors de l'analyse historique effectuée en phase 1, des inadéquations entre niveaux de restriction et état des ressources ont pu être recensées :

- soit des situations identifiées comme nécessitant des restrictions alors que l'état des ressources est suffisant pour les usages ;
- soit, à l'inverse, des problèmes d'usage alors qu'il n'y a pas de restriction.

L'impact des mesures de restriction sur les niveaux est difficilement quantifiable, le lien de causalité n'étant pas évident. Néanmoins, en 2014 et en 2015 ces restrictions sont suivies d'une évolution plus faible (pente) des niveaux d'eau les mois suivants. On note que le franchissement d'un seuil n'induit pas nécessairement l'application d'une restriction correspondant à ce seuil, la décision de prise d'un arrêté étant multifactorielle (précipitation, climatologie, humidité des sols, prévisions, hydrologie).

Dans la phase 3, les causes de ces inadéquations ont été recherchées en examinant notamment les points faibles méthodologiques de la définition des seuils, pouvant potentiellement conduire à une gestion de la ressource non adaptée à son état réel.

Dans la phase 4, des propositions sont ensuite faites pour renforcer le dispositif de suivi sécheresse en améliorant en particulier les seuils d'alerte et de crise. Il est ainsi préférable d'utiliser des seuils annuels au lieu de seuils mensuels qui compliquent l'appréciation de l'état de la ressource et travailler sur les séries constituées par les niveaux moyens mensuels minimum de chaque année (HMNA par analogie avec les QMNA) plutôt que sur les séries des niveaux moyens annuels. Parmi les valeurs qui pourraient être utilisées pour fixer ces seuils et qui ont été testées dans l'étude, il y aurait a priori, aussi bien pour la Champagne-Ardenne que pour la Lorraine :

- la moyenne des niveaux moyens mensuels minimum de chaque année (moyenne des HMNA) ;
- le minimum de la série des HMNA ;
- le HMNA5 (période de retour 5 ans sec) lorsqu'une analyse fréquentielle est possible ;
- la moyenne des minima relevés chaque année dans la chronique journalière ;
- le minimum absolu (seuil historique) relevé dans la chronique de mesures.

L'Indicateur piézométrique standardisé (IPS) utilisé dans le Bulletin de Situation Hydrologique pour définir chaque mois l'état des nappes en France pourrait aussi être envisagé, bien que ce ne soit pas sa vocation première, sous condition d'une étude de faisabilité.

Les tests réalisés avec ces variables ont montré qu'il était difficile d'une part de standardiser en ne retenant qu'une seule solution convenant à tous les piézomètres et d'autre part de définir systématiquement 3 seuils, tant les écarts entre seuils testés sont faibles sur la plupart des piézomètres, notamment en Lorraine.

- Le cas de l'Alsace (hors plaine alluviale) est abordé à partir d'une étude réalisée par le BRGM à la demande de l'ARS (Etude de la sensibilité à la sécheresse des ressources en eau dans les Vosges (versant alsacien) - rapport BRGM/RP-66696-FR, 2016).

Contrairement aux deux autres régions, il n'existe pas, dans le secteur étudié, de réseau de suivi du niveau piézométrique des eaux souterraines, qui sont localisées, dans ce secteur, en zones de socle et dans des milieux alluvionnaires. Il n'existe actuellement qu'un seul point de suivi quantitatif des eaux souterraines dans les Vosges versant alsacien, correspondant à une source. Sur la zone de socle vosgien, les sources constituent en effet la majorité des points d'eaux recensés. Dans l'emprise de la zone d'étude, selon la BSS, il existe 1735 sources, dont 102 sources non classifiées, 1330 sources classifiées comme captées (soit 76 %) et 303 sources classifiées comme non-captées.

Le suivi actuel de l'état de sécheresse se fait actuellement selon l'arrêté-cadre inter-préfectoral du 26 juillet 2012, relatif à la mise en place de principes communs de vigilance et de gestion des usages de l'eau en cas de sécheresse ou de risque de pénurie dans les bassins-versants du Rhin Supérieur. Ces arrêtés définissent différents seuils utilisant les QMNA2, QMNA5 et 10ème du module des différents cours d'eau suivi.

Constituer un réseau de suivi des eaux souterraines est un prérequis pour bien maîtriser les problèmes rencontrés lors des épisodes de déficit pluviométrique.

Sommaire

1. Introduction	17
2. Champagne-Ardenne	19
2.1. ÉTAT DES LIEUX	19
2.1.1. Cadre réglementaire du dispositif sécheresse.....	19
2.1.2. Pressions sur les masses d'eau souterraine	23
2.1.3. Problèmes de tension survenus pour l'alimentation en eau potable	32
2.1.4. Secteurs à problèmes de déficit quantitatif.....	32
2.1.5. Densité des points de suivis piézométriques.....	37
2.1.6. Arrêtés sécheresse et mesures de restriction	39
2.1.7. Examen des seuils piézométriques.....	39
2.1.8. Franchissement des seuils piézométriques.....	49
2.2. RECHERCHE DES CAUSES AYANT MENÉ A DES INADÉQUATIONS DES MESURES DE RESTRICTION	68
2.2.1. Analyse des effets des mesures de restriction	68
2.2.2. Synthèse.....	77
2.3. SEUILS PIÉZOMETRIQUES : INSUFFISANCES MÉTHODOLOGIQUES.....	77
2.3.1. Analyse des chroniques de niveaux des piézomètres actuellement suivis	78
2.3.2. Analyse des chroniques de niveaux des piézomètres complémentaires	86
2.4. RECHERCHE D'ÉLÉMENTS POUR L'AMÉLIORATION DU RÉSEAU DE SUIVI SÉCHERESSE	89
2.4.1. Essai de détermination de seuils par une analyse fréquentielle	89
2.4.2. Relations niveaux piézométriques – débits des cours d'eau	97
2.4.3. Quels seuils choisir : des valeurs de variables relatives à des minima ?	105
2.4.4. Quels seuils choisir : l'Index Piézométrique Standardisé pourrait-il être utilisé ?	116
2.4.5. Synthèse.....	121
3. Lorraine.....	123
3.1. ÉTAT DES LIEUX	123
3.1.1. Cadre réglementaire du dispositif sécheresse.....	123
3.1.2. Problèmes survenus pour l'AEP.....	128
3.1.3. Pression sur les eaux souterraines	130
3.1.4. Secteurs à problèmes de déficit quantitatif.....	132
3.1.5. Nappes alluviales.....	139
3.1.6. Arrêtés sécheresse et mesures de restriction	141

3.2. RECHERCHE D'ÉLÉMENTS COMPLÉMENTAIRES POUR RENFORCER LE RÉSEAU DE SUIVI	142
3.2.1. Relations nappe – rivière (prise en compte du réseau hydrographique)	142
3.2.2. Chroniques piézométriques recensées	152
3.2.3. Tests statistiques sur les séries de niveaux moyens annuels avec au moins 20 ans de mesures.....	158
3.2.4. Analyse fréquentielle sur les séries de niveaux moyens annuels.....	159
3.2.5. Tests statistiques sur les séries de niveaux moyens mensuels minimum année civile (HMNA).....	165
3.2.6. Analyse fréquentielle sur les séries de niveaux moyens mensuels minimum année civile (HMNA)	167
3.2.7. Quels seuils choisir : des valeurs de variables relatives à des minima ?.....	173
3.2.8. Quels seuils choisir : l'Indicateur Piézométrique Standardisé pourrait-il être utilisé ?	178
3.3. SYNTHÈSE	181
4. Alsace	183
4.1. CONTEXTE ET PROBLÉMATIQUE	183
4.2. PÉRIMÈTRE D'ÉTUDE	184
4.3. OBJECTIFS.....	185
4.4. CONTEXTE HYDROGÉOLOGIQUE	185
4.5. ÉVALUATION DE LA RÉSISTANCE A LA SÉCHERESSE	186
4.5.1. Cas des alluvions	186
4.5.2. Cas des aquifères de socle	186
4.6. CADRES RÉGLEMENTAIRES ET RÉSEAUX DE SUIVI	186
4.6.1. Arrêté cadre sécheresse	186
4.6.2. Réseau de suivi quantitatif de la masse d'eau Socle vosgien versant alsacien...	187
4.7. SYNTHÈSE DES DONNÉES EXISTANTES SUR LE SECTEUR D'ÉTUDE.....	188
4.7.1. Données BSS et BSS EAU.....	188
4.7.2. ADES	189
4.7.3. Données sur les prélèvements	189
4.7.4. Données de suivi des cours d'eau (Banque Hydro)	190
4.7.5. Arrêtés préfectoraux.....	191
4.8. ÉLÉMENTS D'ANALYSE DE LA SENSIBILITÉ A LA SÉCHERESSE DES RESSOURCES EN EAU SOUTERRAINE	192
4.9. SYNTHÈSE	194
5. Conclusions	197

6. Références bibliographiques 203

Liste des illustrations

Illustration 1 -	Région Grand Est résultant de la fusion des anciennes régions (en jaune)	18
Illustration 2 -	Carte délimitant les 8 unités hydrogéologiques suivies dans l'ancienne région Champagne-Ardenne	22
Illustration 3 -	Prélèvement (surface, souterrain) en Champagne-Ardenne en 2012 et 2013	23
Illustration 4 -	Prélèvement (AEP, irrigation) en Champagne-Ardenne en 2012 et 2013	24
Illustration 5 -	Prélèvement (par département) en Champagne-Ardenne en 2012 et 2013.....	25
Illustration 6 -	Prélèvements distingués par département entre usages AEP et domestique et irrigation, en 2012 et 2013.....	28
Illustration 7 -	Prélèvements (par masse d'eau) en Champagne-Ardenne en 2013.....	29
Illustration 8 -	Localisation des prélèvements AEP par masse d'eau souterraine	30
Illustration 9 -	Unités hydrogéologiques et piézomètres de suivi associés	31
Illustration 10 -	BDQP eaux souterraines : ratio des volumes prélevés en eaux souterraines par rapport à la recharge et la tendance piézométrique.....	34
Illustration 11 -	Indicateurs BDQP eaux souterraines superposés aux masses d'eau souterraine	35
Illustration 12 -	Distribution des BDQP associé au masses d'eau souterraine	36
Illustration 13 -	Nombre de piézomètres associés aux masses d'eau (en haut) et nombre de BDQP eau souterraine (en bas).....	37
Illustration 14 -	Représentation des seuils du piézomètre de Mécringes.....	42
Illustration 15 -	Seuils du piézomètre de Mécringes et chronique piézométrique en 2014.....	42
Illustration 16 -	Seuils du piézomètre de Mécringes et chronique piézométrique en 2009.....	43
Illustration 17 -	Représentation des seuils du piézomètre de Bussy-le-Château.....	44
Illustration 18 -	Seuils du piézomètre de Bussy-le-Château et chronique piézométrique en 2003.....	44
Illustration 19 -	Représentation des seuils du piézomètre de Vailly.....	45
Illustration 20 -	Seuils du piézomètre de Vailly et chronique piézométrique en 2005.....	46
Illustration 21 -	Représentation des seuils du piézomètre de Lintelles	47
Illustration 22 -	Représentation des seuils du piézomètre de Praslin	48
Illustration 23 -	Nombre de total de seuils franchis par année, sur l'ensemble des piézomètres de suivi.....	50
Illustration 24 -	Nombre de total de seuils franchis par type de seuils et par année, sur l'ensemble des piézomètres de suivi	51
Illustration 25 -	Occurrence des dépassements de seuils – Piézomètre de Janvilliers	52
Illustration 26 -	Occurrence des dépassements de seuils – Piézomètre de Mécringes	52
Illustration 27 -	Chronique piézométrique de Mécringes.....	53
Illustration 28 -	Chronique piézométrique de Mécringes en 2005.....	54
Illustration 29 -	Occurrence des dépassements de seuils – Piézomètre de Hannogne-Saint-Rémy ...	55
Illustration 30 -	Occurrence des dépassements de seuils – Piézomètre de Fresne-les-Reims.....	55

Illustration 31 -	Occurrence des dépassements de seuils – Piézomètre de Semide	56
Illustration 32 -	Chronique piézométrique de Fresnes-Les-Reims	56
Illustration 33 -	Chronique piézométrique de Linthelles	57
Illustration 34 -	Chronique piézométrique de Vanault-le-Châtel.....	57
Illustration 35 -	Chronique piézométrique de Vanault-le-Châtel en 2005.....	58
Illustration 36 -	Chronique piézométrique de Linthelles en 2005	58
Illustration 37 -	Occurrence des dépassements de seuils – Piézomètres Les Grandes Loges, Sompuis et Vailly	59
Illustration 38 -	Occurrence des dépassements de seuils – Piézomètres de Villeloup, Orvilliers-Saint- Julien, La Saulsotte et Saint-Hilaire-sous-Romilly.....	60
Illustration 39 -	Chronique piézométrique de la Saulsotte.....	61
Illustration 40 -	Chronique piézométrique de Villeloup.....	61
Illustration 41 -	Occurrence des dépassements de seuils – Piézomètre de Bouvellemont	62
Illustration 42 -	Chronique piézométrique de Bouvellemont en 2003.....	62
Illustration 43 -	Occurrence des dépassements de seuils – Piézomètre de Praslin	63
Illustration 44 -	Chronique piézométrique de Praslin en 2005	63
Illustration 45 -	Chronique piézométrique de Praslin.....	64
Illustration 46 -	Occurrence des dépassements de seuils – Piézomètre de Silvarouvres	64
Illustration 47 -	Chronique piézométrique de Silvarouvres en 2011.....	65
Illustration 48 -	Chronique piézométrique de Silvarouvres.....	65
Illustration 49 -	Occurrence des dépassements de seuils – Piézomètre de Lassicourt.....	66
Illustration 50 -	Chronique piézométrique de Lassicourt en 2004	66
Illustration 51 -	Chronique piézométrique de Lassicourt	67
Illustration 52 -	Chronique piézométrique de Hannogne-Saint-Remy (2014) et seuils associés	69
Illustration 53 -	Chronique piézométrique de Semide (2014) et seuils associés	70
Illustration 54 -	Chronique piézométrique de Fresne-les-Reims (2014) et seuils associés	70
Illustration 55 -	Chronique piézométrique de Bussy-le-Château (2014) et seuils associés	71
Illustration 56 -	Bilan de la situation des eaux souterraines en 2014 (Source : BRS n°87)	72
Illustration 57 -	Chronique piézométrique de Bouvellemont (2015) et seuils associés.....	73
Illustration 58 -	Chronique piézométrique de Hannogne-Saint-Rémy (2015) et seuils associés	74
Illustration 59 -	Chronique piézométrique de Fresnes-les-Reims (2015) et seuils associés	75
Illustration 60 -	Chronique piézométrique de Bussy-le-Château (2015) et seuils associés	75
Illustration 61 -	Bilan de la situation des eaux souterraines en 2015 (Source : BRS n°97)	76
Illustration 62 -	Piézo-mètre de Mécringes. Ajustement d'une loi normale impossible.	83
Illustration 63 -	Piézo-mètre de Sompuis. Ajustement d'une loi normale impossible.	84
Illustration 64 -	Piézo-mètre de Sompuis. Ajustement d'une loi normale impossible.	85
Illustration 65 -	Histogramme et corrélogramme des séries de HMNA aux piézomètres de Saulsotte et de Lassicourt.	92
Illustration 66 -	Tests sur la série de HMNA au piézomètre de Hannogne, tendance très significative.	93

Illustration 67 -	Tests sur la série de HMNA au piézomètre de Bouvellemont, pente et rupture très significatives.	94
Illustration 68 -	Ajustement d'une loi de Gumbel sur la série des HMNA aux Grandes Loges	96
Illustration 69 -	Piézomètres suivis et stations hydrométriques en Champagne-Ardenne.....	98
Illustration 70 -	Evolutions des niveaux au piézomètre de Fresne-les-Reims et des débits de la Suippe (pas de temps journalier et mensuel).	100
Illustration 71 -	Corrélogrammes croisés entre les niveaux au piézomètre de Fresne-les-Reims et les débits de la Suippe.	101
Illustration 72 -	Débits de la Suippe et niveaux à Fresnes-les-Reims : relation QMNA-HMNA	102
Illustration 73 -	Relations entre le niveau moyen mensuel à Fresne-les-Reims et le débit moyen mensuel de la Suippe par couple de mois.....	102
Illustration 74 -	Evolution des couples débits de la Suippe-niveaux à Fresnes-les-Reims (aux mêmes dates pour différentes années, de 2007 à 2016).....	103
Illustration 75 -	Report du minimum des HMNA (ligne rouge), du HMNA5 (ligne mauve), de la moyenne des minima de chaque année (ligne orange) et de la moyenne des HMNA (ligne jaune) aux piézomètres de Fresne, Vailly et Grandes Loges.....	111
Illustration 76 -	Report du minimum des HMNA (ligne rouge), du HMNA5 (ligne mauve), de la moyenne des minima de chaque année (ligne orange) et de la moyenne des HMNA (ligne jaune) aux piézomètres d'Orvilliers, de St-Hilaire et de Villeloup	112
Illustration 77 -	Report du minimum des HMNA (ligne rouge), du HMNA5 (ligne mauve), de la moyenne des minima de chaque année (ligne orange) et de la moyenne des HMNA (ligne jaune) aux piézomètres de Mécringes et de Janvilliers.....	113
Illustration 78 -	Périodogrammes calculés pour les piézomètres de Fresne, Vailly et Grandes Loges	114
Illustration 79 -	Périodogrammes calculés pour les piézomètres de St-Hilaire, Villeloup et Bussy. ...	115
Illustration 80 -	Variations de l'IPS et report de seuils : piézomètres de Mécringes, Janvilliers et Saulsotte	118
Illustration 81 -	Variations de l'IPS et report de seuils : piézomètres de St-Hilaire, Orvilliers et Villeloup	119
Illustration 82 -	Evolution de l'IPS et report de seuils : piézomètres de Grandes Loges, Vanault et Sompuis.	120
Illustration 83 -	Indicateur Hydrologique de Synthèse - Délimitation des zones d'alerte Meuse/Moselle et stations hydrologiques (DREAL)	125
Illustration 84 -	Piézomètres de suivi des nappes en Lorraine et vallée de la Meuse (Source DREAL Lorraine)	127
Illustration 85 -	Distribution du nombre de piézomètres utilisés par nappe pour l'établissement d'indicateurs globaux	128
Illustration 86 -	Répartition des points d'eau par département en 2003	129
Illustration 87 -	Prélèvements (Mm3) en Lorraine, par département, eaux souterraines et eaux de surface, AEP et industriel, en 2012	130
Illustration 88 -	Prélèvements (Mm3) en Lorraine, par département, eaux souterraines (ESO : couleur foncée) et eaux de surface (ESU : couleur claire), AEP et industriel, en 2012.....	131
Illustration 89 -	Prélèvements (Mm3) en Lorraine, par département, eaux souterraines, AEP (couleur foncée) et industriel (couleur claire), en 2012	131

Illustration 90 -	Volumes prélevés par masse d'eau souterraine pour l'usage AEP et domestique en 2013	132
Illustration 91 -	Répartition des stations hydrologiques par bassin hydrologique	133
Illustration 92 -	Répartition des stations hydrologiques par secteur.....	134
Illustration 93 -	Nombre de semaines (toutes stations confondues) en état de vigilance, de crise ou de crise renforcée, entre 2009 et 2015.....	134
Illustration 94 -	Nombre de semaines en alerte, crise ou crise renforcée, par station hydrologique, pour l'année 2015	135
Illustration 95 -	Nombre de semaines en vigilance, crise ou crise renforcée, par bassin hydrographique en 2015.....	136
Illustration 96 :	Nombre de semaines en vigilance, crise ou crise renforcée par secteur en 2015....	137
Illustration 97 -	Nombre de semaines en vigilance, crise ou crise renforcée par secteur en 2009 (en haut) et 2011 (en bas)	138
Illustration 98 -	Stations hydrologiques en état de sécheresse récurrent	139
Illustration 99 –	Stations hydrométriques et piézomètres suivis en Lorraine	143
Illustration 100 -	Comparaison des niveaux (02682X0095) et débits (A5110610) aux pas de temps journalier et mensuel.....	144
Illustration 101 -	Corrélogrammes croisés niveau (02682X0095) – débit (A5110610)	145
Illustration 102 -	Comparaison des niveaux (01381X0070) et débits (A8500610) aux pas de temps journalier et mensuel.....	146
Illustration 103 -	Corrélogrammes croisés niveaux (01381X0070) – débits (A8500610).....	147
Illustration 104 -	Comparaison des niveaux (03057X0018) et débits (A6711210) aux pas de temps journalier et mensuel.....	148
Illustration 105 -	Corrélogrammes croisés niveau (03057X0018) – débit (A6711210)	149
Illustration 106 -	Comparaison des niveaux (00406X0029) et débits (B7200010) aux pas de temps journalier et mensuel.....	150
Illustration 107 -	Corrélogrammes croisés niveau (00406X0029) – débit (B7200010)	151
Illustration 108 -	Piézomètre 01116X0138, ajustement d'une loi Log-normale sur les niveaux moyens annuels	161
Illustration 109 -	Piézomètre 01381X0070, ajustement d'une loi Log-normale sur les niveaux moyens annuels	162
Illustration 110 -	Piézomètre 01937X0054, ajustement d'une loi Log-normale sur les niveaux moyens annuels	163
Illustration 111 -	Piézomètre 02663X0001, ajustement d'une loi Log-normale sur les niveaux moyens annuels	164
Illustration 112 -	Piézomètre 02706X0074, ajustement d'une loi Log-normale sur les niveaux moyens annuels	165
Illustration 113 -	Piézomètre 00692X0062, ajustement d'une loi Log-normale sur les HMNA	168
Illustration 114 –	Piézomètre 01116X0138 : ajustement d'une loi de Gumbel sur les HMNA	169
Illustration 115 –	Piézomètre 01377X0205 : ajustement d'une loi de Gumbel sur les HMNA	170
Illustration 116 –	Piézomètre 01381X0070 : ajustement d'une loi de Gumbel sur les HMNA	171
Illustration 117 –	Piézomètre 01937X0054 : ajustement d'une loi de Gumbel sur les HMNA	172
Illustration 118 –	Piézomètre 03027X0007: ajustement d'une loi de Gumbel sur les HMNA	173

Illustration 119 -	Report du minimum des HMNA (ligne rouge), du HMNA5 (ligne mauve), de la moyenne des minima de chaque année (ligne orange) et de la moyenne des HMNA (ligne jaune) aux piézomètres de Gerspunsart, Cléry-le-Petit, Verneville	176
Illustration 120 -	Report du minimum des HMNA (ligne rouge), du HMNA5 (ligne mauve), de la moyenne des minima de chaque année (ligne orange) et de la moyenne des HMNA (ligne jaune) aux piézomètres de Bertrange, Villers-en-Haye, Fréville	177
Illustration 121 –	Variations de l'IPS aux piézomètres de Gerspunsart, Brioules sur Bar et Mance	179
Illustration 122 –	Variations de l'IPS aux piézomètres de Bertranges, Villers-en-Haye, Epiez-sur-Meuse	180
Illustration 123 -	Carte de délimitation hydrogéologique du périmètre d'étude	184
Illustration 124 -	Points d'eau recensés dans la BSS par grandes unités lithologiques	188
Illustration 125 -	Prélèvements AEP et industriel sur la zone de socle en 2012 (source : AERM)	190
Illustration 126 -	Stations hydrométriques et météorologiques (météo France) disposant de chroniques sur la période 2000 - 2016 présentes sur la zone d'étude	191
Illustration 127 -	Nombre d'arrêtés préfectoraux impactant une commune depuis 2003	192
Illustration 128 -	Localisation du ruisseau du strengbach et de la commune de Soultzeren	193
Illustration 129 -	Comportement des sources comparé à l'évolution du débit à l'exutoire du bassin versant entre octobre 2002 et septembre 2005 (ordonnées logarithmiques)	193
Illustration 130 –	Piézomètre des Grandes Loges : périodes de récession en 1976, 2004 et 2011	200
Illustration 131 -	Piézomètre de Fresne : périodes de récession en 1976, 2004 et 2011	201
Illustration 132 –	Variations de l'IPS aux piézomètres des Grandes Loges et de Fresne	202

Liste des tableaux

Tableau 1 –	Aquifère, code NORS des unités hydrogéologiques et code masse d'eau correspondant aux 8 unités hydrogéologiques suivies en Champagne-Ardenne	20
Tableau 2 -	Prélèvement (surface, souterrain) en Champagne-Ardenne en 2012 et 2013	23
Tableau 3 -	Prélèvement (surface, souterrain) en Champagne-Ardenne en 2012	25
Tableau 4 -	Prélèvement (surface, souterrain) en Champagne-Ardenne en 2013	25
Tableau 5 -	Prélèvement (par département) en Champagne-Ardenne en 2012 et 2013	26
Tableau 6 -	Prélèvement (par masse d'eau) en Champagne-Ardenne en 2013	29
Tableau 7 –	Nombre de communes et population concernés par les problèmes d'AEP	32
Tableau 8 -	Masses d'eau souterraines et bassins en déséquilibre quantitatif potentiel	36
Tableau 9 -	Piézomètre associés aux masses d'eau souterraine, et volumes AEP prélevés en 2013 ..	38
Tableau 10 -	Synthèse des observations sur les seuils piézométriques	49
Tableau 11 -	Synthèse des franchissements de seuils entre 2000 et 2016	68
Tableau 12 -	Caractérisation des séries piézométriques enregistrées sur 19 piézomètres de suivi de l'état des nappes en Champagne-Ardenne	79
Tableau 13 -	Statistiques et tests sur les moyennes annuelles des niveaux calculées sur 19 piézomètres	81
Tableau 14 :	Caractérisation des séries piézométriques enregistrées sur 21 piézomètres complémentaires	87

Tableau 15 - Statistiques et tests sur les moyennes interannuelles des niveaux calculées sur 11 piézomètres complémentaires.....	88
Tableau 16 - Statistiques et tests sur les niveaux moyens mensuels minimum (HMNA) calculés sur les 19 piézomètres du réseau de suivi sécheresse.	90
Tableau 17 - Résultats de l'analyse fréquentielle réalisée sur 10 séries de HMNA.....	95
Tableau 18 - Couples piézomètre et station hydrologique retenus pour l'analyse niveaux-débits	97
Tableau 19 - Résultats des corrélations croisées niveaux – débits	104
Tableau 20 – Valeurs de différentes variables relatives à des minima	106
Tableau 21 – Piézomètres avec des écarts importants entre niveaux moyens mensuels minimum.....	107
Tableau 22 – Niveaux mensuels minimum les plus "bas" et les plus "hauts" relevés dans la série des HMNA	108
Tableau 23 - Classes de l'indicateur piézométrique standardisé et équivalence éventuelle en termes de période de retour.	116
Tableau 24 - Prélèvements en Lorraine, par masse d'eau souterraine, usage AEP et domestique, en 2013.....	133
Tableau 25 - Identification des nappes en connexion avec les stations hydrologiques fréquemment en état de sécheresse	140
Tableau 26 - Synthèse des arrêtés pris en Lorraine en 2015	141
Tableau 27 – 24 piézomètres de Lorraine disposant de mesures avant 2000	153
Tableau 28 - Caractérisation des séries piézométriques enregistrées sur 19 piézomètres de Lorraine disposant de mesures avant 2000	154
Tableau 29 - Caractérisation des séries piézométriques enregistrées sur 50 piézomètres de Lorraine disposant de mesures à partir de 2000	155
Tableau 30 - Caractérisation des séries piézométriques enregistrées sur 50 piézomètres de Lorraine disposant de mesures à partir de 2000 (suite).....	156
Tableau 31 - Piézomètres dont le suivi a été interrompu ou avec moins de 10 années de mesures	156
Tableau 32 – Caractéristiques statistiques de 40 séries piézométriques de Lorraine disposant de mesures après 2000.....	157
Tableau 33 - Statistiques et tests sur les moyennes interannuelles année civile des niveaux calculées sur 14 piézomètres de Lorraine ayant plus de 20 ans de mesures.	159
Tableau 34 - Résultats de l'analyse fréquentielle réalisée sur 5 séries de niveaux moyens	160
Tableau 35 - Statistiques et tests sur les HMNA calculés sur 14 piézomètres de Lorraine.....	166
Tableau 36 - Résultats de l'analyse fréquentielle réalisée sur 6 séries de HMNA.....	167
Tableau 37 - Valeurs de différentes variables relatives à des minima sur 19 piézomètres de Lorraine	175
Tableau 38 - Seuil de déclenchement des différents niveaux d'alerte aux stations hydrologiques (arrêté cadre interdépartemental de 2012).....	187
Tableau 39 - Prélèvements sur la zone de socle. AERM, 2012 et 2013.....	189

Liste des annexes

Annexe 1 : Seuils piézométriques des ouvrages de suivi en Champagne-Ardenne	205
Annexe 2 : Nombre de dépassements de seuils par piézomètre de suivi (indicateur sécheresse) en Champagne-Ardenne.....	217
Annexe 3 : Seuils de crise minimum et maximum des indicateurs sécheresse en Champagne- Ardenne.....	229
Annexe 4 : Collecte des données et contenu du SIG	243

1. Introduction

En France, dans de nombreuses régions, les ressources en eau (souterraine et de surface), sont vulnérables aux épisodes de déficit pluviométrique qui, lorsqu'ils se produisent en automne, hiver, printemps, conduisent à une diminution de la recharge des eaux souterraines et à une diminution du débit d'étiage des cours d'eau alimentés par ces nappes.

La sécheresse se manifeste sous divers aspects et sera différemment ressentie par les acteurs sociaux suivant sa durée, le compartiment de l'hydrosystème affecté (sol, cours d'eau, nappe), le type d'activité économique touché (agriculture, alimentation en eau potable, production d'électricité dans le cas des cours d'eau). Dans les cas extrêmes, tout le fonctionnement de l'hydrosystème peut être perturbé durablement : la réserve en eau des sols est épuisée et les nappes, du fait d'une baisse importante de leurs niveaux, n'assurent plus le soutien d'étiage des cours d'eau et l'alimentation des sources. Pour anticiper ces problèmes ou les atténuer et garantir au mieux la continuité des approvisionnements en eau (en particulier pour l'AEP et l'irrigation) et la protection des écosystèmes aquatiques, un suivi de l'évolution du niveau des nappes et du débit des cours d'eau est nécessaire. L'état quantitatif de la ressource en eau est alors évalué par rapport à des seuils piézométriques et débitométriques particuliers permettant de déclencher des alertes et des mesures de restriction appropriées : seuil d'alerte, seuil d'alerte renforcée et seuil de crise.

Dans la région Grand Est (Champagne-Ardenne, Lorraine et Alsace), de tels seuils ont été fixés sur les cours d'eau et sur certaines nappes exploitées (principalement en Champagne-Ardenne) mais, d'une de ces anciennes régions à l'autre le dispositif de suivi de la sécheresse diffère. C'est pourquoi la DREAL Grand Est, l'Agence de l'Eau Seine-Normandie et l'Agence de l'Eau Rhin-Meuse ont initié la présente étude, consacrée uniquement aux nappes libres exploitées, dont les objectifs sont :

- établir un état des lieux, en particulier analyser les indicateurs sécheresse existant et identifier d'éventuelles inadéquations entre les mesures de restriction mises en œuvre, les problèmes d'usage rencontrés et l'état quantitatif de la ressource souterraine ;
- fournir des pistes de réflexions sur la définition de nouveaux indicateurs de référence si nécessaire ;
- harmoniser les dispositifs et protocoles de suivi de l'état des nappes destinés à anticiper les tensions sur les ressources en eau et les conflits d'usage éventuels. En Champagne-Ardenne et en Lorraine la déclinaison régionale de la politique de préservation de la ressource en eau en période de sécheresse n'est pas effectuée sur des critères identiques. En Champagne-Ardenne les arrêtés sécheresse s'appuient sur des seuils piézométriques (d'alerte, d'alerte renforcée et de crise). En Lorraine ce sont des seuils de débit qui sont utilisés.

L'étude a été réalisée avec le soutien financier des deux Agences de l'eau (AESN et AERM) et du BRGM. Elle concerne la région Grand-Est, issue de la fusion des anciennes régions Champagne-Ardenne, Lorraine et Alsace (Illustration 1). Pour l'Alsace, la nappe de la plaine alluviale du Rhin est exclue.

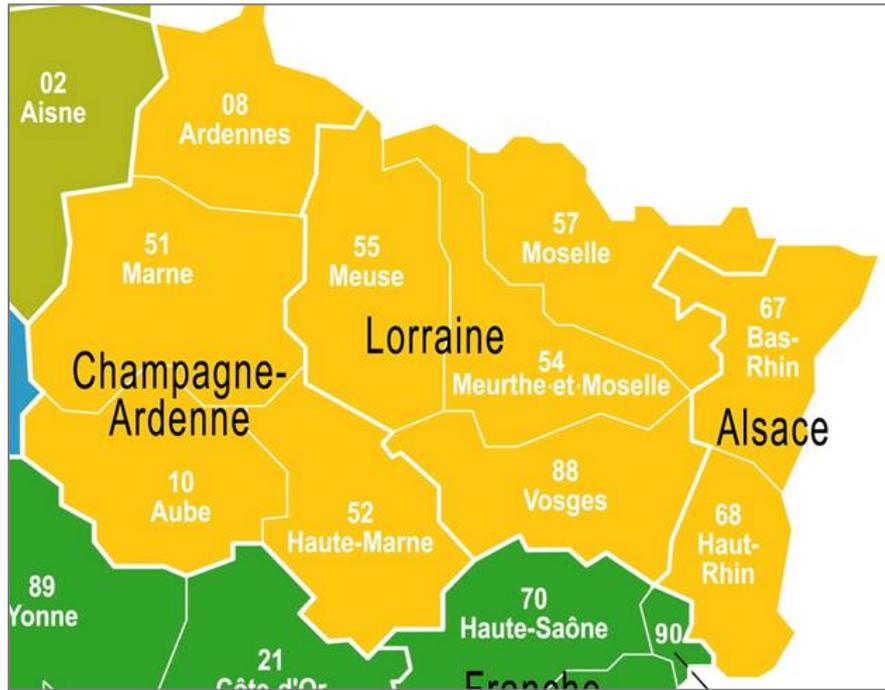


Illustration 1 - Région Grand Est résultant de la fusion des anciennes régions (en jaune)

2. Champagne-Ardenne

2.1. ÉTAT DES LIEUX

2.1.1. Cadre réglementaire du dispositif sécheresse

La déclinaison régionale de la politique de préservation de la ressource en eau en période de sécheresse est assurée, en Champagne-Ardenne, par la mise en œuvre du dispositif sécheresse. Ce dispositif comprend :

- un document de cadrage régional, appelé *Notice d'orientation régionale sécheresse* (NORS, 2015), ayant pour principal objectif de définir un cadre commun dans la gestion des épisodes de sécheresse entre les 4 départements de la région ;
- un suivi opérationnel de la sécheresse formalisé par la diffusion de bulletins renseignant sur l'état hydrologique et hydrogéologique de la région en période d'étiage, appelés *Bulletins réglementaires sécheresse* (BRS).

La NORS détermine notamment les unités hydrologiques et hydrogéologiques cohérentes (appelées aussi zones d'alerte) sur lesquelles des mesures de restriction doivent être prises ainsi que les valeurs seuils de référence en deçà desquelles ces zones passent en état d'alerte, puis d'alerte renforcée puis de crise.

Ces unités ainsi que les seuils associés sont utilisés pour déterminer l'état de la ressource en période d'étiage, via la rédaction de BRS édités chaque quinzaine.

Afin de déterminer l'état de la ressource souterraine et les secteurs hydrogéologiques sur lesquels des mesures de restriction sont mises en œuvre, la DREAL procède de la façon suivante :

- 8 unités hydrogéologiques (présentées sur la carte de l'illustration 2), basées sur le référentiel national des masses d'eau, sont suivies dans la région (les 3 masses d'eau crayeuses, la nappe de Champigny, les calcaires de l'Oxfordien et du Portlandien, la nappe de Brienne) ;
- l'état quantitatif de ces unités est évalué grâce aux données d'un certain nombre de piézomètres, mises à disposition via [ADES](#) ;
- le passage en alerte, alerte renforcée ou crise est déterminé en comparant pour chaque piézomètre la moyenne des niveaux du mois en cours aux valeurs correspondant respectivement à des périodes de retour 5 ans sec, 10 ans sec et 20 ans sec de ce même mois ;
- l'état quantitatif de la nappe dans la zone d'alerte est défini par la moyenne arithmétique de l'état des différents piézomètres de suivi, pondérée par la note de qualité qui leur a été attribuée.
- la méthode de détermination de l'état quantitatif des nappes vis-à-vis de la sécheresse est décrite dans l'annexe 2 de la NORS ; elle est rappelée au § 2.1.7 (voir aussi le rapport [RP-54481-FR](#), 2005).

Le passage en état d'alerte, d'alerte renforcée ou de crise d'une unité hydrogéologique entraîne en application des préconisations de la NORS, la mise en œuvre de mesures de restriction au sein de cette zone. Les mesures de limitation ou de suspension provisoire des usages de l'eau sont discriminées par usage de l'eau :

- consommation des particuliers et des collectivités ;
- consommation des ICPE ;
- consommations des industriels et commerciaux (hors ICPE) ;
- gestion des ouvrages hydrauliques ;
- rejets dans le milieu ;
- consommation agricole.

Les 8 unités hydrogéologiques retenues pour le suivi sécheresse en Champagne et Ardennes sont délimitées sur la carte de l'illustration 2 ci-après et listées dans le Tableau 1.

Aquifère	Code NORS	Code masse d'eau	Nombre de piézomètres	Piézomètres suivis (19)
Calcaire de Brie et de Champigny	A	FRHG103	2	Mécringes, Janvilliers
Craie de Champagne Nord	B	FRHG207	3	Hannogne-Saint-Rémy, Fresnes-les-Reims, Semide, Bussy-le-Château
Craie de Champagne Sud et centre	C	FRHG208	5	Les Grandes Loges, Linthelles, Sompuis, Vanault-le-Châtel, Vailly
Craie du Sénonais et pays d'Othe	D	FRHG209	4	Orvilliers-Saint-Julien, Villeloup, Saulsotte, Saint-Hilaire-sous-Romilly
Calcaires de l'Oxfordien	E	FRHG305	1	Bouvellemont
Calcaires du Portlandien	F	FRHG304	1	Praslin
Calcaires de l'Oxfordien	G	FRHG306	1	Silvarouvres
Nappe de Brienne	H	FRHG008	1	Lassicourt

Tableau 1 – Aquifère, code NORS des unités hydrogéologiques et code masse d'eau correspondant aux 8 unités hydrogéologiques suivies en Champagne-Ardenne

Pour ces masses d'eau souterraine et les cours d'eau associés, les données nécessaires à l'étude ont été extraites de différentes bases de données : la Banque HYDRO pour les débits des cours d'eau, ADES pour les niveaux des nappes souterraines et BNPE pour les prélèvements. De nombreuses autres données et informations ont été fournies par les partenaires du projet (Agences de l'Eau concernées, ARS, DREAL). Les arrêtés sécheresse ont été aussi recherchés.

À partir de ces données, un bilan des prélèvements (dans les nappes et les cours d'eau) a été dressé et les pressions de prélèvements sur les eaux souterraines ont été évaluées. Les problèmes d'usage survenus, les secteurs en tension et les mesures de restriction prises ont été recensés. Puis les différents seuils piézométriques fixés par les arrêtés cadre sécheresse (alerte, alerte renforcée et crise) ont été passés en revue et confrontés à l'évolution des niveaux des nappes concernées.

Un SIG, développé sous ArcGIS, rassemble la plus grande partie des données. Il est décrit en Annexe 4.

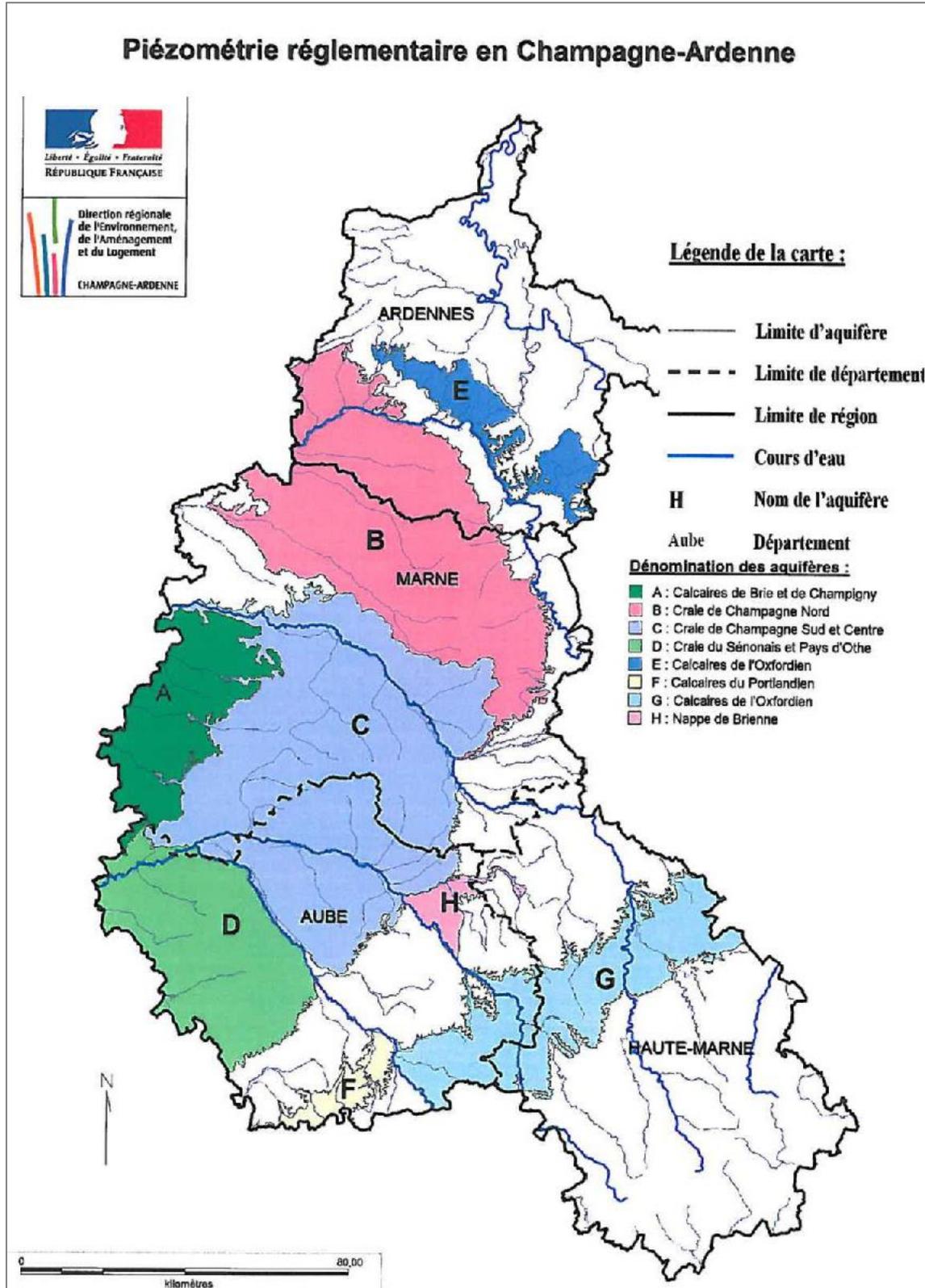


Illustration 2 - Carte délimitant les 8 unités hydrogéologiques suivies dans l'ancienne région Champagne-Ardenne

2.1.2. Pressions sur les masses d'eau souterraine

◆ Évaluation des prélèvements par zone géographique

Afin d'évaluer la pression exercée par les prélèvements sur les masses d'eau souterraine suivies au droit des 8 unités hydrogéologiques, les données de prélèvements (faisant l'objet d'une redevance) issues de la BNPE ont été extraites.

La banque nationale des prélèvements quantitatifs en eau (BNPE) est l'outil national dédié à la diffusion des prélèvements sur la ressource en eau, pour la France métropolitaine et les départements d'outre-mer. En Champagne-Ardenne, les données disponibles les plus complètes au moment de l'étude concernent l'année 2012 et l'année 2013.

À l'échelle de la région Champagne-Ardenne, les prélèvements totaux tous usages (AEP et domestique, irrigation) et type d'eau (souterrain, surface) confondus sont estimés à **132,1 Mm³ en 2012 et 135,1 Mm³ en 2013**.

L'illustration 3 et le Tableau 2 précisent la répartition des prélèvements par type d'eau : environ 98 % pour les eaux souterraines (129,2 Mm³ en 2012 et 132,1 Mm³ en 2013) et 2 % pour les eaux de surface (2,9 Mm³ en 2012 et 3 Mm³ en 2013).

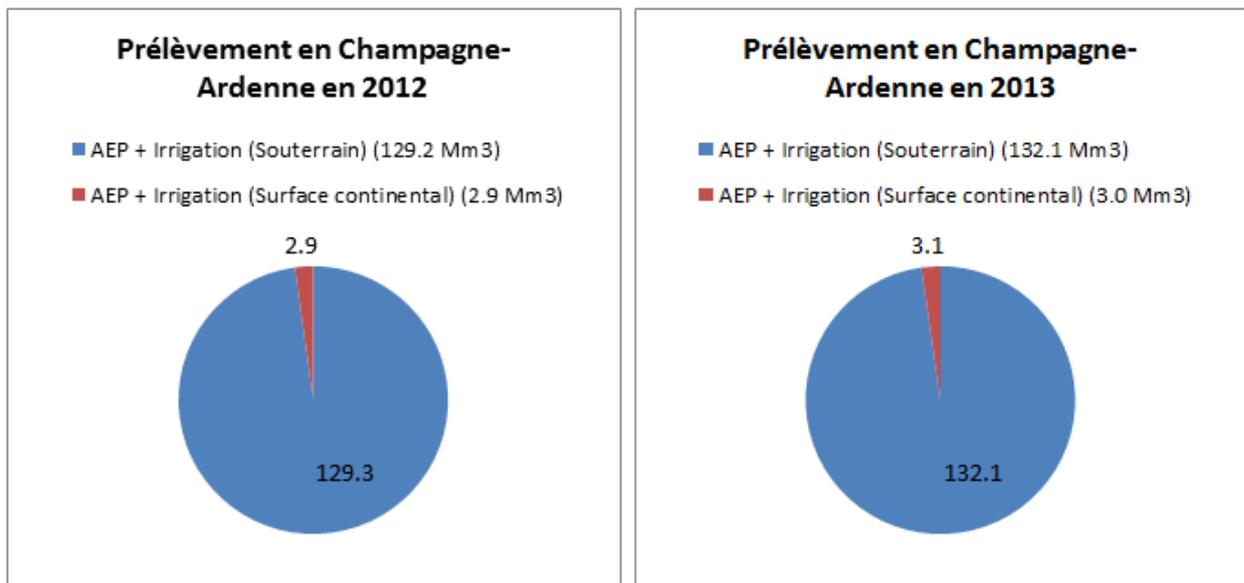


Illustration 3 - Prélèvement (surface, souterrain) en Champagne-Ardenne en 2012 et 2013

Usage	Année	Type d'eau	Volume total (m ³)	Proportion (%)
AEP + Irrigation	2012	Souterrain	129 278 793	97,80
AEP + Irrigation	2012	Surface	2 902 274	2,20
AEP + Irrigation	2013	Souterrain	132 106 936	97,73
AEP + Irrigation	2013	Surface	3 068 070	2,27

Tableau 2 - Prélèvement (surface, souterrain) en Champagne-Ardenne en 2012 et 2013

Entre 2012 et 2013, tous usages confondus (AEP et domestique, irrigation), les volumes prélevés ne montrent pas d'évolution significative (Illustration 4).

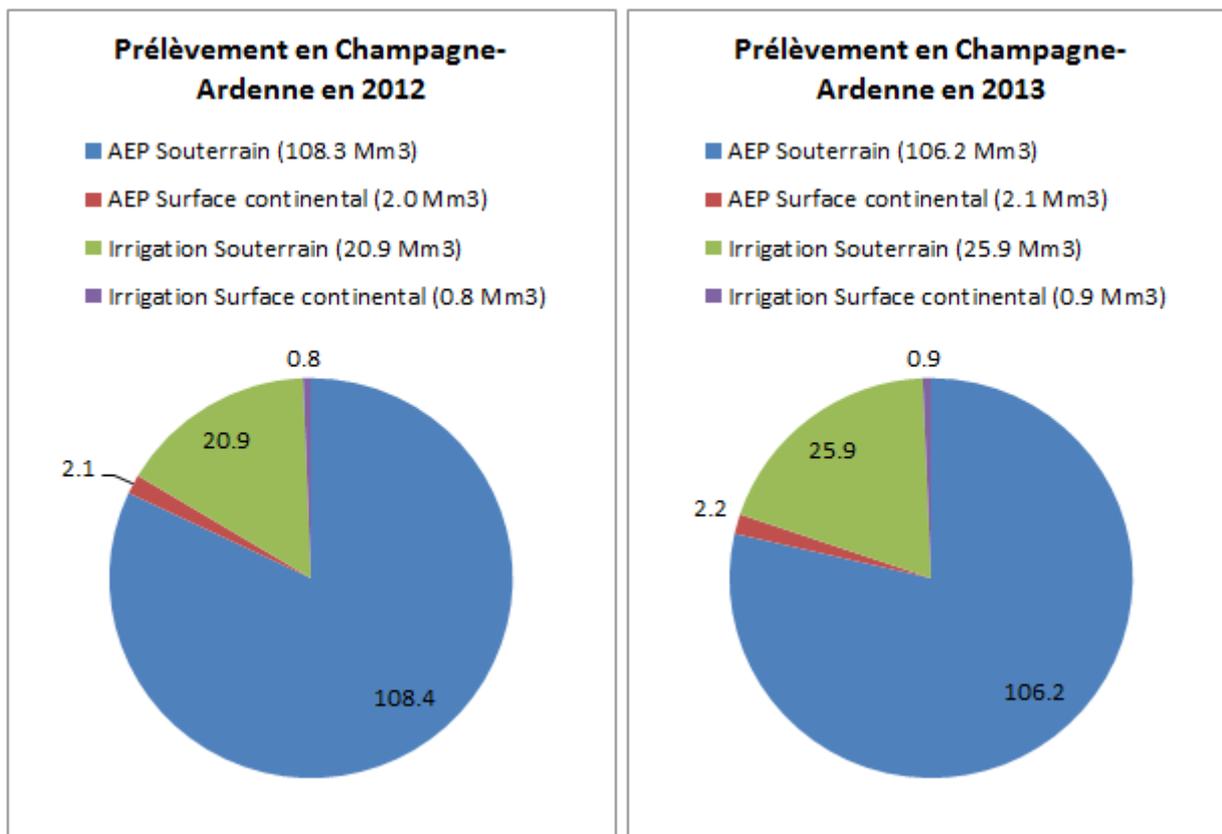


Illustration 4 - Prélèvement (AEP, irrigation) en Champagne-Ardenne en 2012 et 2013

La répartition des prélèvements (surface et souterrain) entre les usages AEP et domestique (la distinction n'est pas faite entre ces deux usages) et l'irrigation est, en 2013, de l'ordre de 80 % (108,3 Mm3) pour l'AEP et 20 % pour l'irrigation (21,7 Mm3). Pour l'année 2012, les consommations respectives sont du même ordre (83 % et 17 %).

Le détail des prélèvements est donné dans le Tableau 3 pour l'année 2012 et dans le Tableau 4 pour l'année 2013.

Usage	Année	Type d'eau	Volume total (m3)	Proportion (%)	Proportion (%)
AEP	2012	Souterrain	108 376 708	82,0	83,6
AEP	2012	Surface	2 069 227	1,6	
Irrigation	2012	Souterrain	20 902 085	15,8	16,4
Irrigation	2012	Surface I	833 047	0,6	
Total =			132 181 067	100	

Tableau 3 - Prélèvement (surface, souterrain) en Champagne-Ardenne en 2012

Usage	Année	Type d'eau	Volume total (m3)	Proportion (%)	Proportion (%)
AEP	2013	Souterrain	106 201 425	78,6	80,2
AEP	2013	Surface	2 160 081	1,6	
Irrigation	2013	Souterrain	25 905 511	19,2	19,8
Irrigation	2013	Surface I	907 989	0,7	
Total =			135 175 006	100	

Tableau 4 - Prélèvement (surface, souterrain) en Champagne-Ardenne en 2013

L'AEP a une place majoritaire dans les prélèvements, mais les prélèvements pour l'irrigation sont néanmoins importants, d'autant plus qu'ils s'effectuent sur une période de temps restreinte.

La répartition des prélèvements par département est inégale, comme l'indique l'illustration 5.

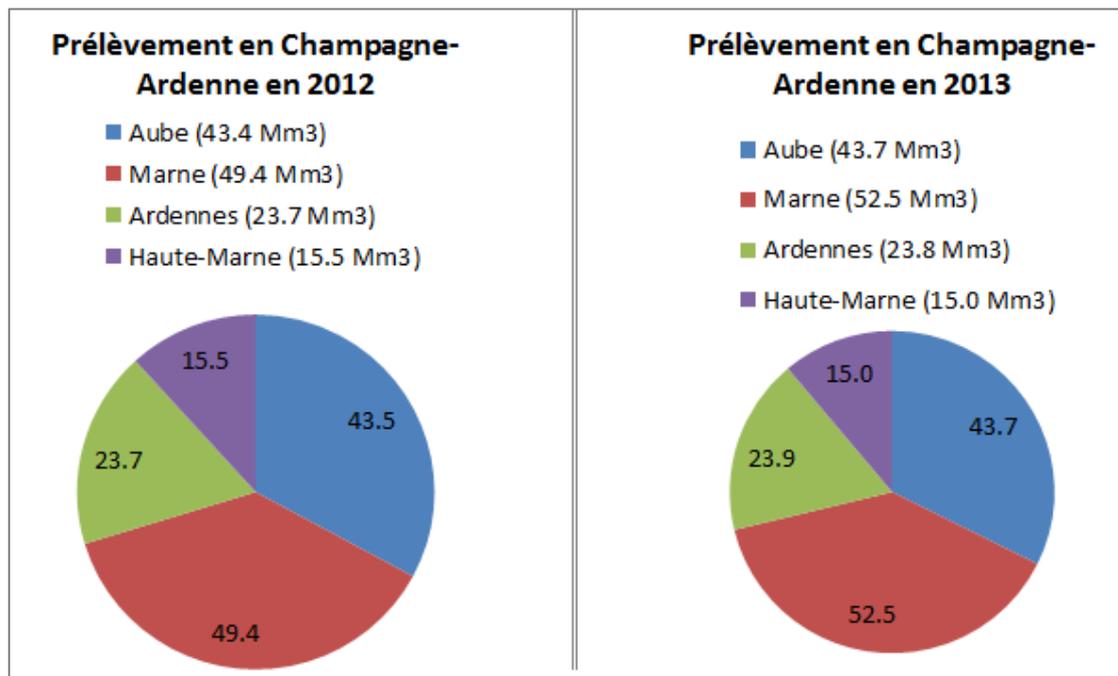


Illustration 5 - Prélèvement (par département) en Champagne-Ardenne en 2012 et 2013

En 2012, les prélèvements sont d'environ 49 Mm³ pour la Marne et 43 Mm³ pour l'Aube, tandis que les volumes prélevés sont moindres dans les Ardennes (23 Mm³) et la Haute-Marne (15 Mm³).

Les prélèvements en eau souterraine dans l'Aube et dans la Marne (département le plus grand des quatre : 8200 km²) sont plus du double de ceux opérés dans les Ardennes (département le plus petit des quatre : 5256 km²) et la Haute-Marne.

La ventilation des prélèvements par usage et département est donnée dans le Tableau 5 pour les années 2012 et 2013.

Département	Usage	Année	Volume total (m ³)	Volume total (m ³)
Aube	AEP	2012	30 718 419	43 466 499
Aube	Irrigation	2012	12 748 080	
Aube	AEP	2013	29 055 713	43 738 729
Aube	Irrigation	2013	14 683 016	
Marne	AEP	2012	41 127 538	49 439 270
Marne	Irrigation	2012	8 311 732	
Marne	AEP	2013	41 684 860	52 534 726
Marne	Irrigation	2013	10 849 866	
Ardennes	AEP	2012	23 101 598	23 737 978
Ardennes	Irrigation	2012	636 380	
Ardennes	AEP	2013	22 689 603	23 893 541
Ardennes	Irrigation	2013	1 203 938	
Haute-Marne	AEP	2012	15 498 380	15 537 320
Haute-Marne	Irrigation	2012	38 940	
Haute-Marne	AEP	2013	14 931 330	15 008 010
Haute-Marne	Irrigation	2013	76 680	

Tableau 5 - Prélèvement (par département) en Champagne-Ardenne en 2012 et 2013

Les graphiques de l'illustration 6 représentent la répartition des prélèvements entre usages AEP et domestique (couleurs foncées) et irrigation (couleurs claires), par département en 2012 et 2013. Pour ces deux années, la répartition des usages demeure proche. On notera une distribution des prélèvements à usage AEP et domestique de l'ordre de 79 et 66 % pour les départements de l'Aube et de la Marne, tandis qu'ils dépassent 95 % pour les Ardennes et la Haute-Marne.

En résumé, à l'échelle de la Champagne-Ardenne, les prélèvements globaux annuels liés aux besoins AEP (et domestique) et irrigation sont d'environ **130 Mm³, dont 98 % sont prélevés dans les eaux souterraines**. La distribution des prélèvements pour ces mêmes usages par département est variable, de 15 Mm³/an à 49 Mm³/an. La part de l'irrigation dans ces prélèvements est inégale : de 20% à 36 % pour les départements de l'Aube et de la Marne, inférieure à 5 % pour les Ardennes et la Haute-Marne. Si les volumes prélevés pour l'agriculture sont inférieurs aux usages AEP et domestique, leur répartition dans le temps est concentrée sur quelques mois durant la période estivale.

◆ Évaluation des prélèvements par masse d'eau souterraine

À ce jour, les prélèvements déclarés dans la BNPE ne sont pas rattachés aux masses d'eau souterraines ou aux entités hydrogéologiques de la BDLISA. Le rattachement est géographique, c'est-à-dire effectué au droit des ouvrages de prélèvement pour l'irrigation (dont la précision de localisation est variable) ou au centroïde de la commune pour les captages AEP et usages domestiques.

Afin de compléter cette première analyse des prélèvements, faite géographiquement - donc sans tenir compte de la nature des ressources – un travail réalisé en 2016 dans le cadre d'un projet interne BRGM pour rattacher les captages AEP aux codes des masses d'eau DCE et BDLISA a été exploité pour l'année 2013. Ce travail (réalisé dans le cadre d'un projet interne BRGM) s'est appuyé sur le croisement des données du référentiel captage AEP ADES et de la BSS. Ainsi, une grande partie des prélèvements totaux (AEP et domestiques, correspondant à environ 80 % des prélèvements totaux) a pu être rattachée de manière précise à une masse d'eau.

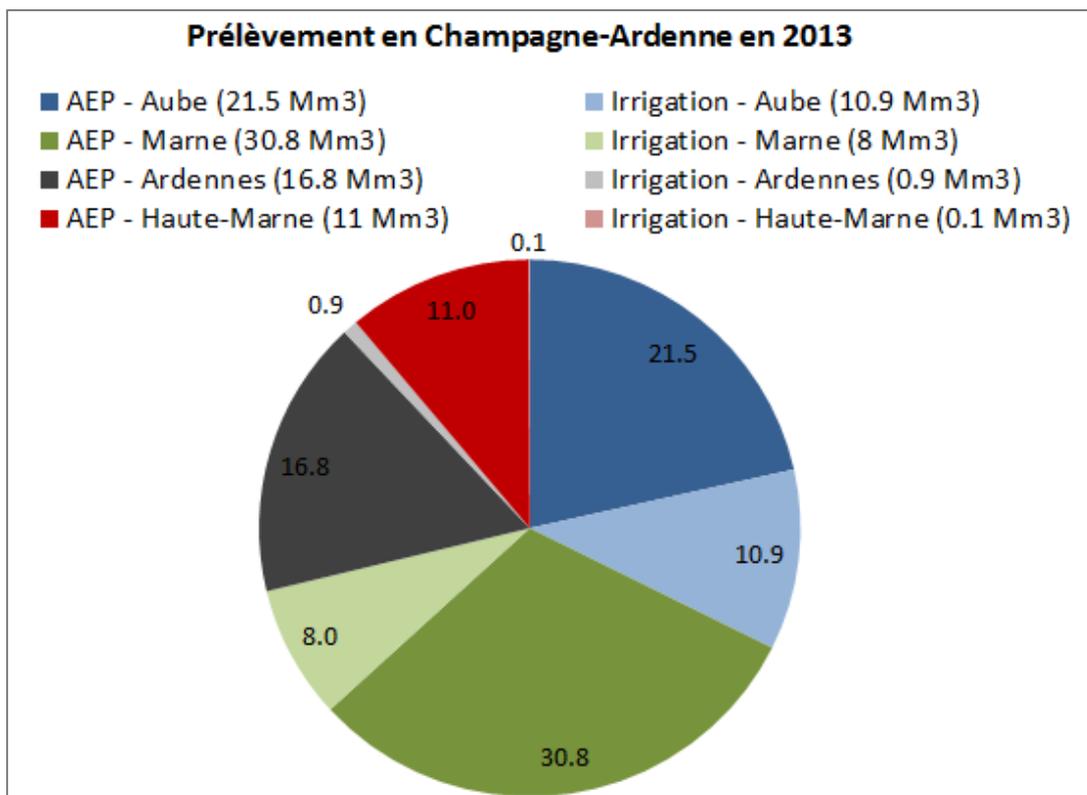
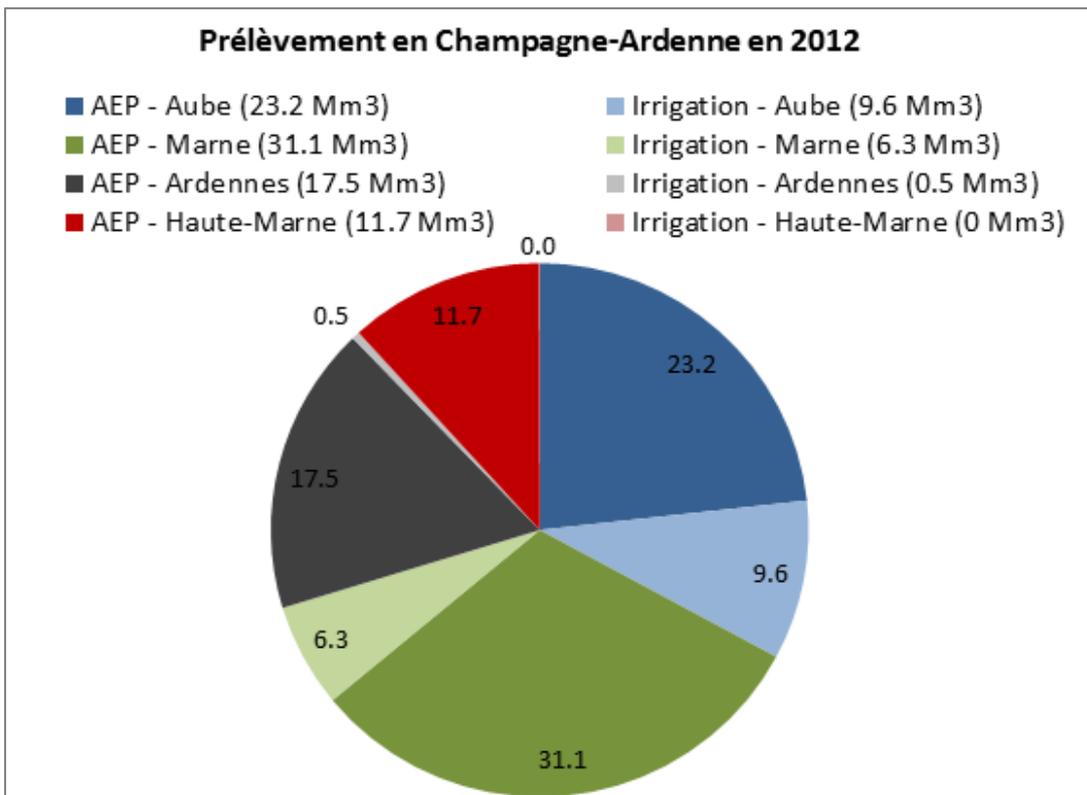


Illustration 6 - Prélèvements distingués par département entre usages AEP et domestique et irrigation, en 2012 et 2013

Le nombre de captage AEP et le volume cumulé des prélèvements est présenté, pour l'année 2013, par masse d'eau dans le Tableau 6.

Aquifère	n° NORS	Code masse d'eau	Nombre de captages	Volume cumulé (m3)
Calcaire de Brie et de Champigny	A	FRHG103	342	75 478 914
Craie de Champagne Nord	B	FRHG207	302	31 111 505
Craie de Champagne Sud et centre	C	FRHG208	491	39 740 725
Craie du Sénonais et pays d'Othe	D	FRHG209	324	62 477 795
Calcaires de l'Oxfordien	E	FRHG305	44	3 009 621
Calcaires du Portlandien	F	FRHG304	14	5 316 036
Calcaires de l'Oxfordien	G	FRHG306	76	4 444 832
Nappe de Brienne	H	FRHG008	15	826 037

Tableau 6 - Prélèvement (par masse d'eau) en Champagne-Ardenne en 2013

L'illustration 7 représente la répartition des volumes prélevés en 2013 par masse d'eau. On notera l'importance des prélèvements opérés sur 4 des 8 masses d'eau concernées : le Calcaire de Brie et de Champigny (FRHG103), la Craie du Sénonais et pays d'Othe (FRHG209), la Craie de Champagne Sud et centre (FRHG208) et la Craie de Champagne Nord (FRHG207). L'extension géographique des prélèvements dans les Calcaires de Brie et de Champigny et de la Craie du Sénonais et pays d'Othe excédant celle de la région Champagne-Ardenne, la pression réelle sur ce territoire administratif est en réalité moindre.

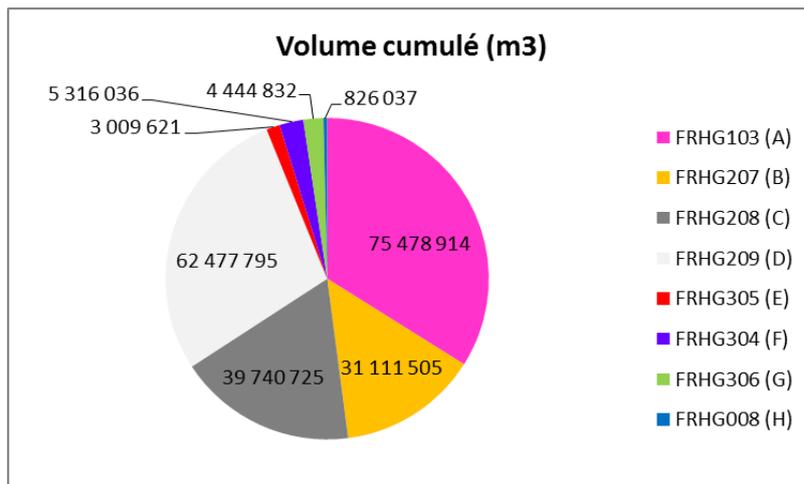


Illustration 7 - Prélèvements (par masse d'eau) en Champagne-Ardenne en 2013

L'extension géographique des ouvrages AEP captant ces 8 unités hydrogéologiques est présentée sur la carte de l'illustration 8. Les couleurs précédemment employées pour distinguer les masses d'eau sont conservées.

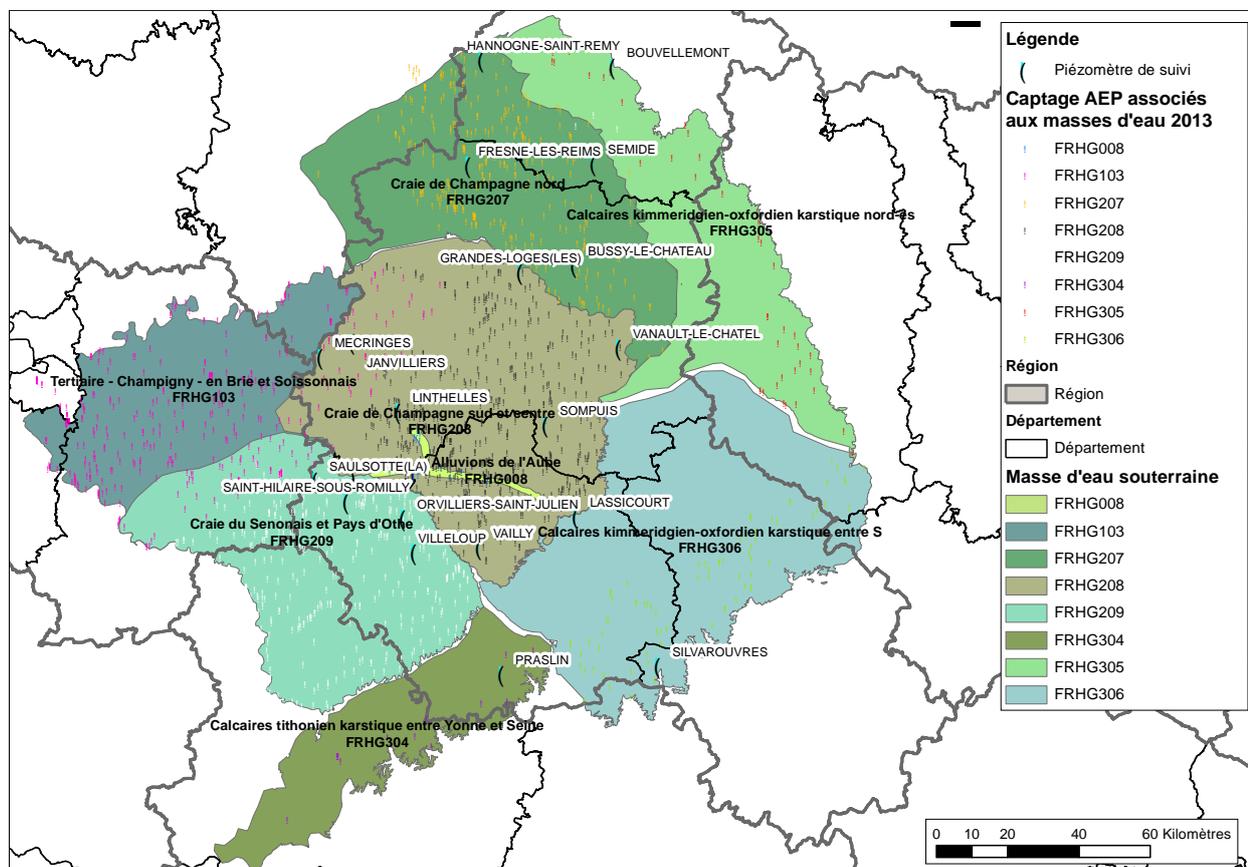


Illustration 8 - Localisation des prélèvements AEP par masse d'eau souterraine

En incluant le département limitrophe de la Seine-et-Marne, l'aquifère des Calcaires de Brie et de Champagne (FRHG103, code A du tableau 6 et de l'illustration 7) est celui où les volumes prélevés sont les plus importants (75,4 Mm³).

Deux piézomètres sont affectés à la surveillance des niveaux (sur le secteur Champagne-Ardenne) : Mécringes et Janvilliers.

En incluant le département limitrophe de l'Yonne, l'aquifère de la Craie du Sénonais et pays d'Othe (n°D, FRHG209) est caractérisé par des prélèvements d'environ 62 Mm³.

Les niveaux de nappe sont suivis par quatre piézomètres : Orvilliers-Saint-Julien, Villeloup, Saulsotte, et Saint-Hilaire-sous-Romilly.

Les prélèvements dans la Craie de Champagne Nord (n°B, FRHG207) sont de l'ordre de 39 Mm³.

Cinq piézomètres sont utilisés pour le suivi de la nappe : Hannogne-Saint-Rémy, Fresnes-les-Reims, Semide et Bussy-le-Château (retiré temporairement).

Du même ordre de grandeur, les prélèvements dans l'aquifère de la Craie de Champagne Sud et Centre (n°C, FRHG208) sont de 31 Mm³.

Cinq piézomètres assurent le suivi de la nappe : Les Grandes Loges, Linthelles, Sompuis, Vanault-le-Châtel et Vailly.

Enfin, les aquifères des Calcaires de l'Oxfordien (n°G, FRHG306 au sud-est de la région et n°E, FRHG305 essentiellement au nord-est de la région Champagne-Ardenne), les Calcaires du Portlandien (n°F, FRHG304) et la nappe de Brieenne (n°H, FRHG008) présentent des prélèvements moins importants, compris entre 1 et 5 Mm³.

Ces 4 aquifères sont suivis chacun par 1 piézomètre.

La répartition géographique de ces piézomètres et des unités hydrogéologiques est représentée sur l'illustration 9.

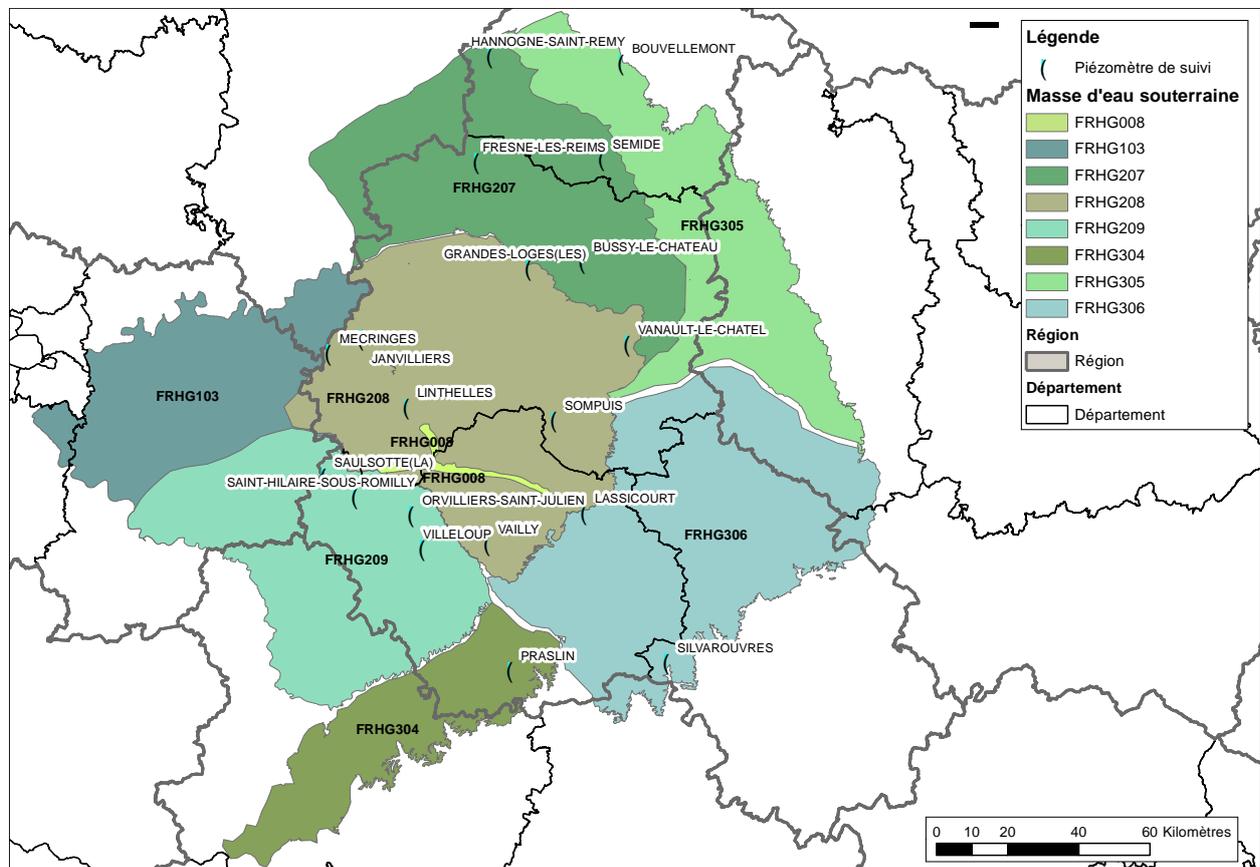


Illustration 9 - Unités hydrogéologiques et piézomètres de suivi associés

2.1.3. Problèmes de tension survenus pour l'alimentation en eau potable

Pour la Champagne-Ardenne, l'ARS dresse, selon les années, le bilan des indicateurs sécheresse AEP collectés auprès des délégations territoriales de l'ARS (DTARS). Cette collecte permet d'identifier les collectivités et populations concernées par des situations de tensions liées à la sécheresse, connues par les DTARS, en rupture d'alimentation (alimentations par citerne) ou en « crainte de rupture ». Les données de l'année 2011 sont disponibles pour les départements des Ardennes et de la Haute-Marne, ainsi que celles de 2014 et de 2015 (collecte partielle, sur quelques semaines de l'année), les indicateurs AEP ne sont pas disponibles pour les autres années et sur les autres départements. Il est à noter l'absence de collectes en 2010, 2012, 2013 et 2016.

D'après cette collecte, l'approvisionnement par camion-citerne a été mis en œuvre pour les années et communes suivantes (détail disponible dans le Tableau 7) :

- en 2011, 3 communes des Ardennes ;
- en 2014, 3 communes des Ardennes et une commune en Haute-Marne ;
- en 2015, une commune des Ardennes.

Les nappes concernées par ces déficits ne sont pas mentionnées.

2011			2014			2015		
Semaine n°	Nombre de communes	Population concernée	Semaine n°	Nombre de communes	Population concernée	Semaine n°	Nombre de communes	Population concernée
36	1	230						
37	1	230						
44	2	962	26	4	1857			
45	2	962	27	4	1857			
46	3	1042	28	4	1857	31	1	59
47	3	1042	29	4	1857	32	1	59
48	3	1042	30	1	87	33	1	59
49	3	1042	31	1	87	34	1	59

Tableau 7 – Nombre de communes et population concernés par les problèmes d'AEP

Les données réunies, fragmentaires, ne permettent pas de réaliser une analyse significative à l'échelle régionale de l'état de la vulnérabilité de la ressource en eau potable. D'autres informations telles que le type de captage (source, forage), la nappe captée et la profondeur du niveau piézométrique sont à collecter pour une analyse plus complète.

2.1.4. Secteurs à problèmes de déficit quantitatif

Afin de caractériser les secteurs à problèmes, les données sur les *Bassins en Déficit Quantitatif Potentiel* (BDQP) ont été exploitées et comparées aux prélèvements sur les masses d'eau souterraine. Ce qui suit est une synthèse de la note de l'AESN sur les BDQP, « *Méthodologie et résultats* », note transmise par l'AESN pour les besoins de cette étude et se basant sur l'évaluation du bon état quantitatif des masses d'eau de la directive cadre sur l'eau.

Les bassins en déséquilibre quantitatif potentiel sont des parties de masses d'eau souterraine ou de bassins versants de masses d'eau de surface subissant des déséquilibres récurrents liés aux prélèvements et susceptibles d'affecter leur bon état quantitatif ou écologique.

Les données de prélèvements utilisées proviennent des déclarations du volume annuel pour la redevance prélèvement au point de prélèvement (BNPE), volumes majoritairement enregistrés au compteur. La période retenue est celle de 2008 à 2012 : il s'agit des années les plus récentes et les plus complètes du point de vue des déclarations. Les volumes de prélèvements ont été moyennés sur toute la période afin de représenter une pression moyennée pour évaluer le déficit. Seuls les résultats des BDQP eaux souterraines ont été pris en compte dans cette analyse.

D'un point de vue méthodologique, afin d'estimer l'impact des prélèvements annuels par rapport à la recharge, deux indicateurs sont croisés : le **ratio prélèvements sur recharge** et la **tendance piézométrique** des secteurs de masse d'eau souterraines, décrits ci-après.

La recharge : il s'agit de l'infiltration calculée par la chaîne de modèles SAFRAN-ISBA- MODCOU à partir des données journalières des pluies (données SAFRAN de METEO France, 1980-2010) diminuée par l'évapotranspiration et le ruissellement (en fonction du type de sol, données de l'INRA). L'échelle de rendu est celle des bassins versants des masses d'eau de surface.

Le ratio prélèvements sur recharge est décliné en 4 classes de pression sur les eaux souterraines :

- pression faible : inférieure à 10 % ;
- pression moyenne : entre 10 et 20 % ;
- pression forte : entre 20 et 50 % ;
- pression très forte : supérieure à 50 %.

Le ratio n'est pas calculé pour les masses d'eau alluviales.

Les tendances

Les tendances piézométriques sont calculées à partir de données disponibles sous ADES pour une sélection de piézomètres disposant d'une chronique de niveaux supérieure à 30 ans. Le calcul a été fait par secteur de masse d'eau souterraine. Une décorrélation de la pluviométrie a été effectuée : les secteurs où la baisse piézométrique est attribuée à la climatologie (infiltration) ne sont pas pris en compte dans l'analyse (comparaison des deux pentes).

De ce travail résulte la carte de l'illustration 10, qui n'inclut pas le cas des masses d'eau alluviales faute d'estimation fiable de la recharge (seule la recharge directe sur l'impluvium est considérée par la méthode utilisée).

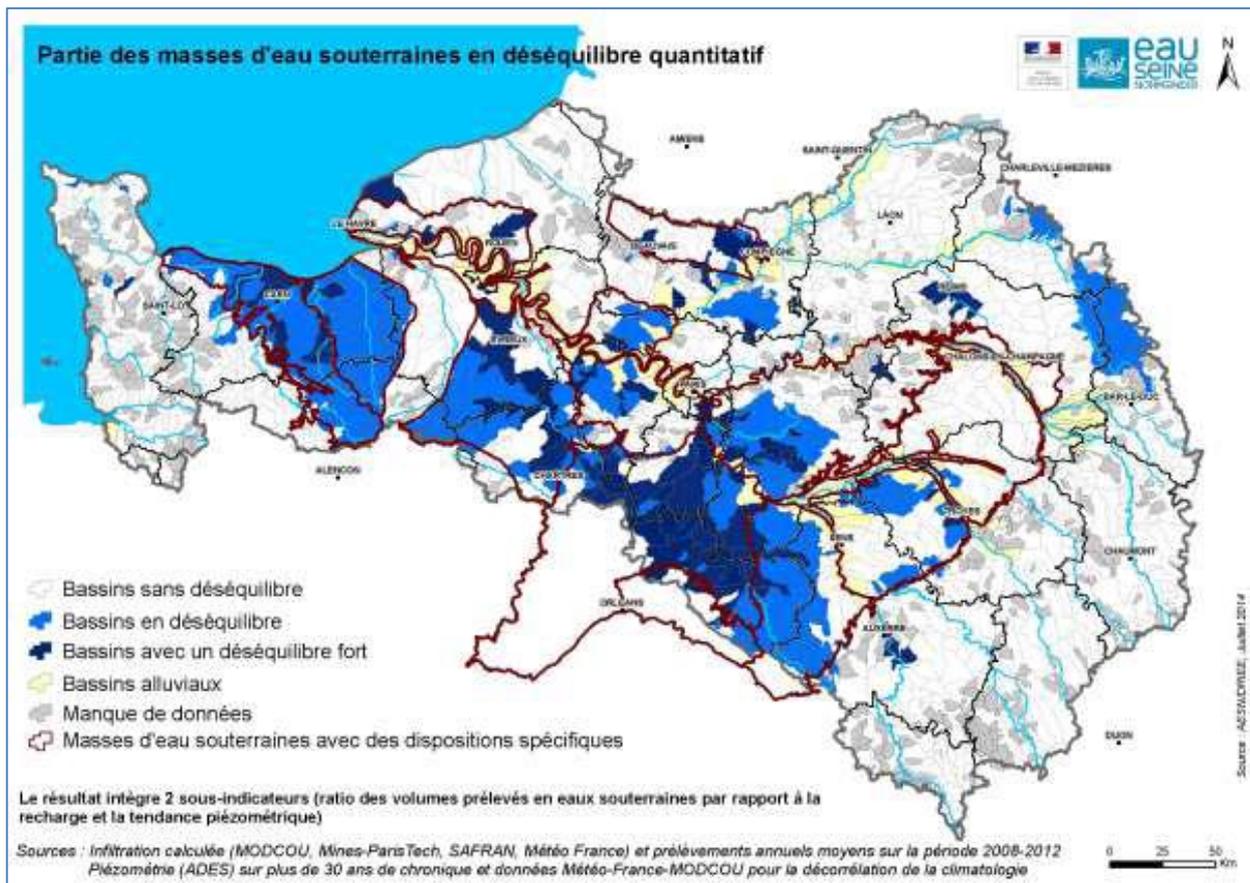


Illustration 10 - BDQP eaux souterraines : ratio des volumes prélevés en eaux souterraines par rapport à la recharge et la tendance piézométrique.

À l'échelle de la Champagne-Ardenne, ces résultats ont été confrontés aux masses d'eau souterraines du territoire, présentés sur la carte de l'illustration 11. Les masses d'eau sont représentées individuellement par des plages de couleur et superposées aux classes des BDQP.

Il est ainsi possible d'évaluer le nombre de BDQP par masse d'eau souterraine afin de qualifier le déséquilibre notable au droit des masses d'eau souterraine.

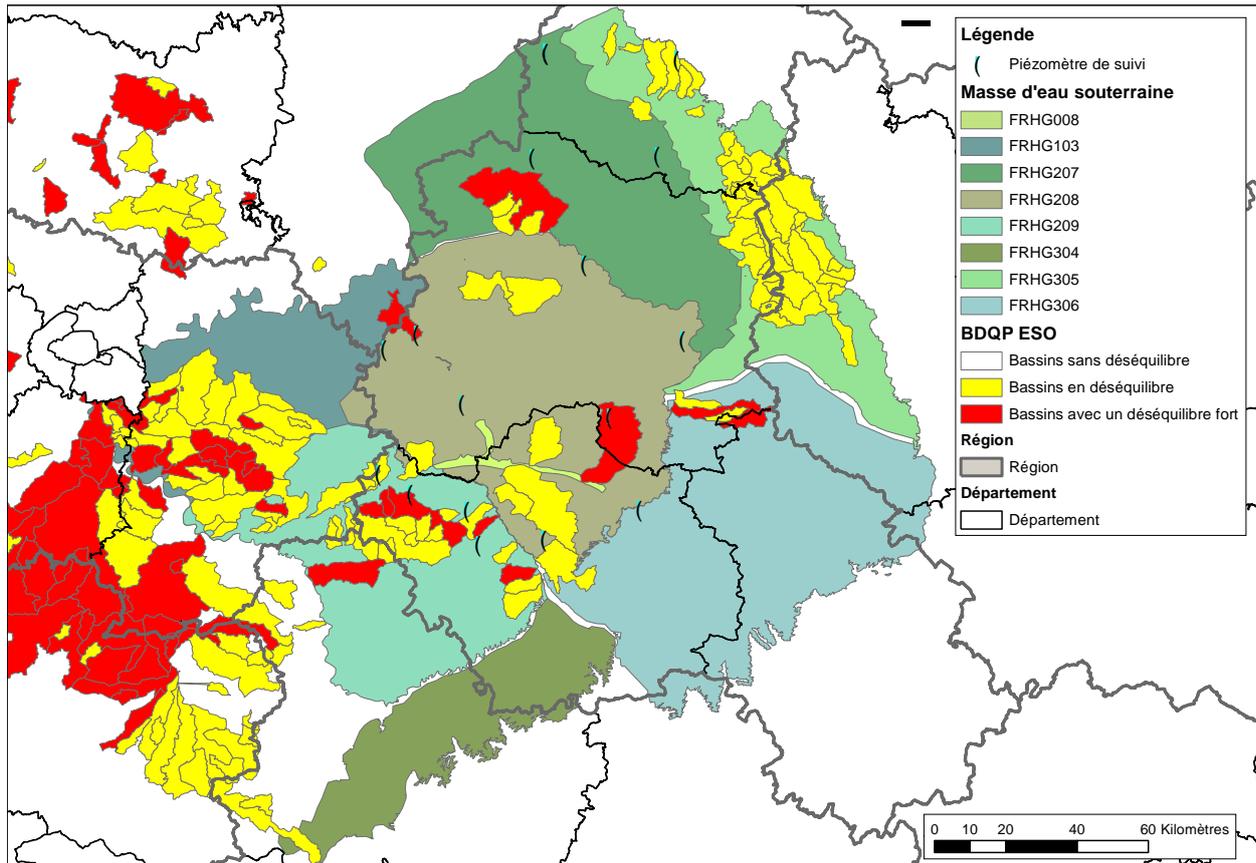


Illustration 11 - Indicateurs BDQP eaux souterraines superposés aux masses d'eau souterraine

Le Tableau 8 comptabilise le nombre de bassins jugés en déséquilibre quantitatif potentiel d'après les critères énoncés précédemment.

Remarque : le nombre de BDQP eaux souterraines et eaux superficielles est totalisé sur toute l'étendue des masses d'eau souterraine (incluant les secteurs hors Champagne-Ardenne), afin de ne pas biaiser l'évaluation de la pression sur ces masses d'eau en prenant une limite administrative.

L'illustration 12 présente la distribution des BDQP eau souterraine et eau de surface par masse d'eau. Les BDQP « eaux souterraines » sont bien marqués au droit de la masse d'eau des Calcaires de Brie et de Champigny (FRHG103), totalisant 39 bassins, au droit de la Craie du Sénonais et pays d'Othe (33, FRHG209) qui supportent les prélèvements en eau souterraine les plus importants. Les Calcaires de l'Oxfordien (31, FRHG305) ressortent également, bien que les prélèvements y soient plus modestes (3 Mm³). La Craie de Champagne Sud et centre (FRHG208) est caractérisée par un déséquilibre sur les eaux souterraines (9) et les eaux de surface (21 bassins). Les aquifères de la Craie de Champagne Nord, les Calcaires de l'Oxfordien, les Calcaires du Portlandien et la Nappe de Brienne ont un nombre de bassins eaux souterraines présentant un déséquilibre moins important : de 1 à 6.

Aquifère	N°	Code masse d'eau	Bassins en déséquilibre	
			Eau souterraine	Eau de surface
Calcaire de Brie et de Champigny	A	FRHG103	39	10
Craie du Sénonais et pays d'Othe	D	FRHG209	33	20
Calcaires de l'Oxfordien	E	FRHG305	31	4
Craie de Champagne Sud et centre	C	FRHG208	9	21
Craie de Champagne Nord	B	FRHG207	6	5
Calcaires de l'Oxfordien	G	FRHG306	5	9
Nappe de Brienne	H	FRHG008	2	4
Calcaires du Portlandien	F	FRHG304	1	4

Tableau 8 - Masses d'eau souterraines et bassins en déséquilibre quantitatif potentiel

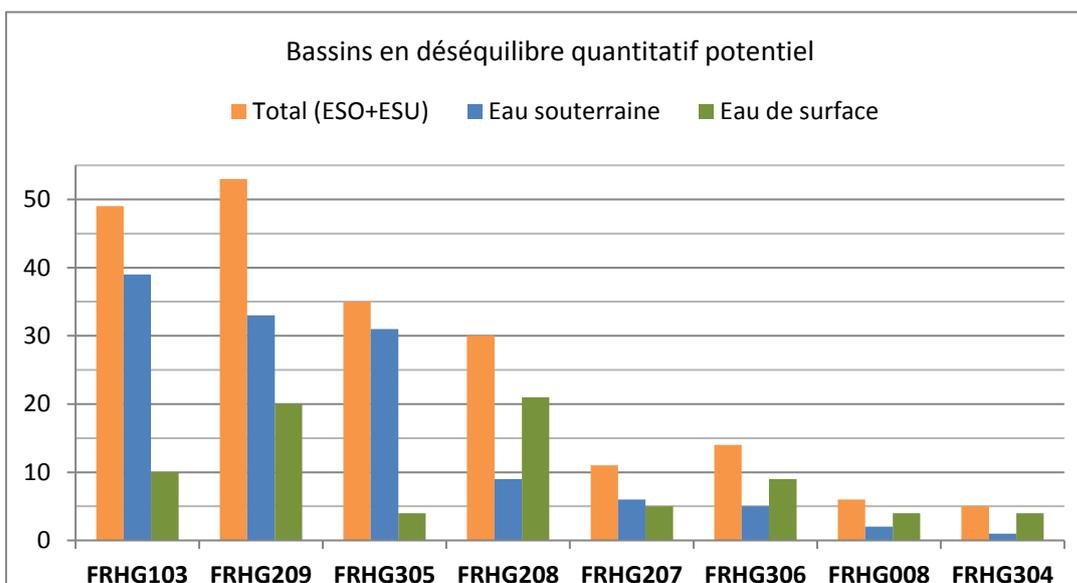


Illustration 12 - Distribution des BDQP associé au masses d'eau souterraine

Les masses d'eau souterraine qui apparaissent les plus vulnérables en utilisant la notion de BDQP comme indicateur de la fragilité de la ressource en eau, notamment face aux épisodes de sécheresse, sont donc : les Calcaires de Brie et de Champigny (FRHG103), la Craie du Sénonais et pays d'Othe (FRHG209), les Calcaires de l'Oxfordien (FRHG305), la Craie de Champagne Sud et Centre (FRHG208).

2.1.5. Densité des points de suivis piézométriques

Idéalement, la densité des piézomètres par masse d'eau souterraine doit être suffisante pour garantir une bonne représentativité de l'état des nappes vis-à-vis de la sécheresse et pour préserver cette représentativité en recourant éventuellement à un piézomètre de remplacement (en réserve) en cas de dysfonctionnement de l'un des piézomètres du réseau de suivi.

En cohérence avec les BDQP examinés précédemment, le réseau de suivi de la sécheresse en Champagne-Ardenne couvre déjà assez bien les principaux aquifères exploités. L'illustration 13 présente le nombre de piézomètres affectés à la surveillance des masses d'eau au regard des BDQP pour ces mêmes masses d'eau.

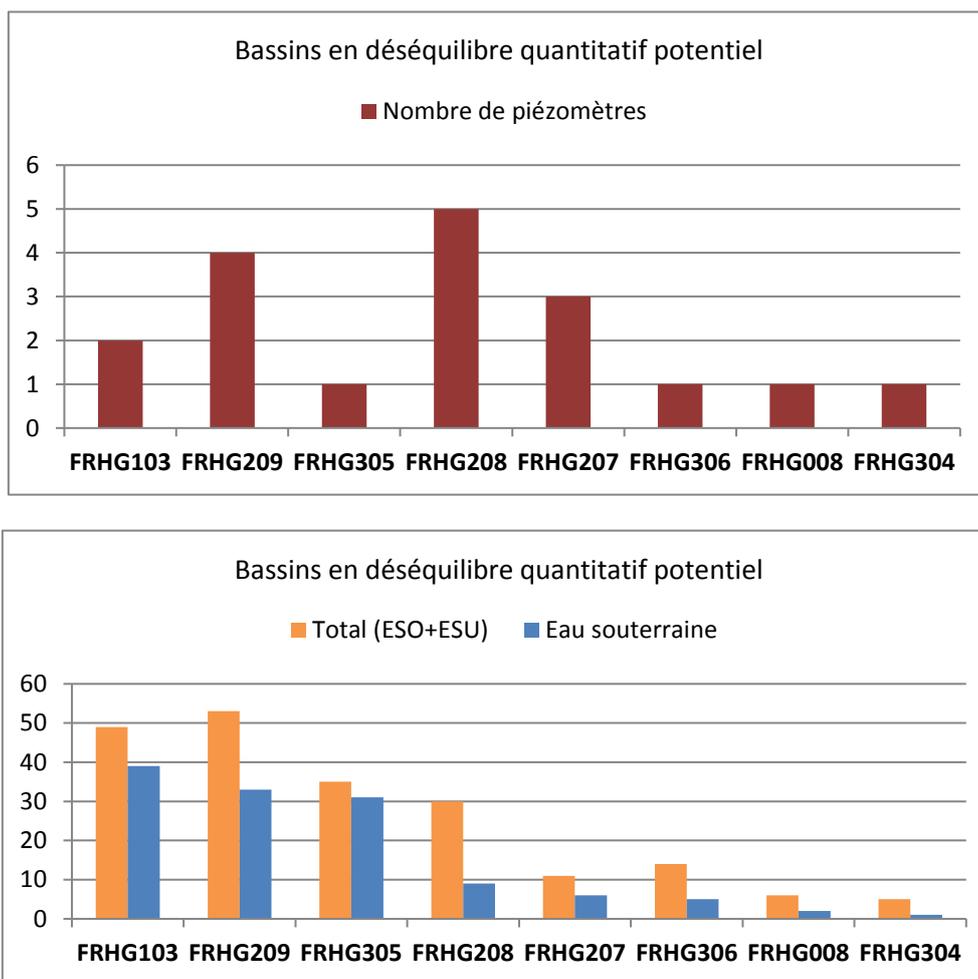


Illustration 13 - Nombre de piézomètres associés aux masses d'eau (en haut) et nombre de BDQP eau souterraine (en bas)

La Haute-Marne dispose d'un seul piézomètre de suivi, Silvarouvres, pour le suivi des Calcaires de l'Oxfordien. Par sécurité et représentativité de la mesure, il pourrait être avisé de réaliser un suivi piézométrique de cette nappe sur un second ouvrage, bien que son exploitation demeure faible au regard des autres aquifères.

Le département des Ardennes dispose de 3 piézomètres de suivi : Hannogne-Saint-Rémy et Semide pour la Craie de Champagne Nord et Bouvellemont pour les Calcaires de l'Oxfordien. Ce dernier (Bouvellemont) étant le seul à suivre l'évolution de cette nappe, par sécurité et représentativité des mesures, il pourrait aussi être envisagé de surveiller cette nappe avec un second ouvrage, bien que son exploitation demeure également faible au regard des autres aquifères.

Les départements de l'Aube et de la Marne disposent respectivement de 7 et 8 piézomètres de suivi.

Dans la Marne, 2 piézomètres sont dédiés au suivi des Calcaires de Brie et de Champigny (FRHG103 : nombreux BDQP) à Mécringes et Janvilliers. Compte tenu du nombre de BDQP identifiés, un ou deux piézomètres supplémentaires pourraient être ajoutés au réseau. La Craie de Champagne Nord est suivie par deux piézomètres à Fresnes-les-Reims et Bussy-le-Château (retiré provisoirement). La Craie de Champagne Sud et centre est suivie par 4 piézomètres : aux Grandes Loges, à Linthelles, Sompuis et Vanault-le-Châtel.

Dans l'Aube, 4 piézomètres sont affectés au suivi de la Craie du Sénonais et pays d'Othe (Orvilliers-Saint-Julien, Villeloup, Saulsothe, Saint-Hilaire-sous-Romilly), comptabilisant 33 BDQP eau souterraine. Le piézomètre de Vailly, affecté quant à lui au suivi de la nappe de Craie de Champagne Sud et Centre, apparaît bien isolé au regard des autres piézomètres de suivi localisés de cette nappe situés dans la Marne.

Enfin, un seul piézomètre est affecté au suivi des Calcaires du Portlandien et un autre à la nappe de Brienne. Selon l'importance accordée à ces nappes - les prélèvements AEP en 2013 étant faibles - il pourrait être envisagé de disposer d'un piézomètre de suivi en secours et aussi pour avoir une meilleure représentativité spatiale.

En cas de défaillance d'un piézomètre, il pourrait arriver qu'une masse d'eau ne soit plus contrôlée que par 1 ou 2 piézomètres (Tableau 9). Si un effort de densification devait être mené afin d'assurer une continuité du suivi durant les périodes critiques, il devrait porter prioritairement sur les masses d'eau ne disposant que d'un seul ouvrage de suivi.

Aquifère	N°	Code masse d'eau	Nombre de piézomètres	Piézo mètres suivis	Nombre de captages	Volume cumulé (m3)
Calcaire de Brie et de Champigny	A	FRHG103	2	Mécringes, Janvilliers	342	75 478 914
Craie de Champagne Nord	B	FRHG207	3	Hannogne-Saint-Rémy, Fresnes-les-Reims, Semide, Bussy-le-Château	302	31 111 505
Craie de Champagne Sud et centre	C	FRHG208	5	Les Grandes Loges, Linthelles, Sompuis, Vanault-le-Châtel, Vailly	491	39 740 725
Craie du Senonais et pays d'Othe	D	FRHG209	4	Orvilliers-Saint-Julien, Villeloup, Saulsothe, Saint-Hilaire-sous-Romilly	324	62 477 795
Calcaires de l'Oxfordien	E	FRHG305	1	Bouvellemont	44	3 009 621
Calcaires du Portlandien	F	FRHG304	1	Praslin	14	5 316 036
Calcaires de l'Oxfordien	G	FRHG306	1	Silvarouvres	76	4 444 832
Nappe de Brienne	H	FRHG008	1	Lassicourt	15	826 037

Tableau 9 - Piézomètre associés aux masses d'eau souterraine, et volumes AEP prélevés en 2013

2.1.6. Arrêtés sécheresse et mesures de restriction

Le site internet [Propluvia](#) diffuse les mesures de suspension ou de limitation prises par les préfets à partir des données fournies à titre indicatif par les services départementaux de l'État. Il est à noter que le site met à disposition les données à partir du 01/01/2012, mais le récolement de ces données entre cette date et aujourd'hui ne semble pas exhaustif.

D'après les données recueillies sur Propluvia et les sites des préfetures, des arrêtés de restriction pour la région Champagne-Ardenne ont été pris aux dates suivantes :

En Haute-Marne (52) :

- alerte (arrêté n°1687) du 01/07/2014 au 13/08/2014 ;
- alerte (arrêté n°2023) du 09/07/2015 au 11/08/2015 ;
- alerte renforcée (arrêté n°2211) au 12/08/2015 au 24/10/2015.

Dans la Marne (51) :

- alerte (arrêté n°28-2014-LE-SEC) du 15/07/2014 au 31/10/2014 ;
- alerte (arrêté n°37-2015-LE) du 07/08/2015 au 31/10/2015.

Dans les Ardennes (08) :

- alerte (arrêté n°2015-423) du 25/07/2015 au 31/10/2015.

Dans l'Aube (10) :

- alerte (arrêté n°2015211-001) du 29/07/2015 au 31/10/2015.

2.1.7. Examen des seuils piézométriques

Définition des seuils d'alerte, d'alerte renforcée et de crise

La « *Notice d'orientation régionale 2015 de Champagne-Ardenne en vue de la préservation de la ressource en eau en période d'étiage, pour les bassins Seine-Normandie et Rhône-Méditerranée* » définit les seuils piézométriques pour les 8 nappes libres (unités homogènes du point de vue hydrogéologiques) traversant la région.

Les 3 seuils de référence fixés sont ainsi définis dans la Notice d'orientation :

- le seuil d'alerte : il permet de prévenir les premiers déficits en eau et de commencer à limiter les prélèvements dans les zones pré-identifiées ;
- le seuil d'alerte renforcée : il représente le premier seuil critique qui permet d'assurer la satisfaction des usages prioritaires dont l'approvisionnement en eau potable ainsi que la préservation de la vie aquatique. De plus il permet d'anticiper une situation de sécheresse qui pourrait être critique en limitant les usages de l'eau ;
- le seuil de crise : c'est le seuil le plus critique, sous lequel la vie aquatique n'est plus préservée et le risque de pénurie d'eau pour les activités humaines est très élevé. Les valeurs des seuils de crise sont comparées à une variable de suivi (propre à chaque unité) calculée tous les quinze jours en période de sécheresse.

Pour les eaux souterraines, la variable de suivi est le niveau piézométrique. Par comparaison aux différents seuils, une note sécheresse comprise entre 1 et 4 est attribuée à chaque piézomètre (4 pour une situation de crise, 3 pour une situation d'alerte renforcée, 2 pour une situation d'alerte, 1 pour une situation normale).

Une *note sécheresse* est ensuite calculée pour la nappe : c'est la moyenne arithmétique des notes sécheresse attribuée aux piézomètres de suivi pondérée par une note de qualité caractérisant chaque piézomètre (cf. rapport BRGM/RP-54481-FR, 2005). La note de qualité est comprise entre 1 (mauvaise qualité du piézomètre de suivi) et 5 (très bonne qualité : piézomètre représentatif, en bon état, non influencé).

Les différents états possibles de la nappe (normal, alerte,...) sont alors définis par un intervalle de variation de la *note sécheresse* (tableau ci-dessous) :

Situation	Normale	Alerte	Alerte renforcée	Crise
Note globale N	$1 \leq N < 1,5$	$1,5 \leq N < 2,5$	$2,5 \leq N < 3,5$	$3,5 \leq N < 4$

Les résultats obtenus sont présentés sous la forme d'une cartographie réglementaire produite par la DREAL Champagne-Ardenne tous les quinze jours en période de sécheresse. Les seuils peuvent être mis à jour chaque année par la DREAL pour tenir compte des nouvelles données disponibles.

Calcul des seuils d'alerte, d'alerte renforcée et de crise

Les différents seuils sont calculés **par mois** de la façon suivante :

- seuil d'alerte : probabilité d'avoir un niveau moyen mensuel inférieur au seuil de 1/5, il s'agit du niveau moyen mensuel quinquennal sec du mois courant ;
- seuil d'alerte renforcée : probabilité d'avoir un niveau moyen mensuel inférieur au seuil de 1/10, il s'agit du niveau moyen mensuel décennal sec du mois courant ;
- seuil de crise : probabilité d'avoir un niveau moyen mensuel inférieur au seuil de 1/20, il s'agit du niveau moyen mensuel vicennal sec du mois courant.

Représentation graphique des seuils

Pour l'ensemble des piézomètres de suivi, les 3 seuils de référence (alerte, alerte renforcée, crise) ont été tracés d'après les valeurs mentionnées en annexe 2 de la NORS. Les calculs ont été faits à partir des données ADES en date du 28/03/2013 pour les mois d'avril à octobre (il n'existe pas de seuils en dehors de ces mois supposés sensibles).

Remarque : dans ce qui suit ces seuils ayant été superposés aux chroniques piézométriques pour les années antérieures et postérieures à 2013, on fait donc l'hypothèse que dans le passé et de 2014 à 2016 les valeurs n'ont guère varié.

Tous les seuils piézométriques sont reportés sur des graphiques rassemblés en Annexe 1 du rapport (un graphique par piézomètre suivi). Des extraits sont présentés et analysés dans ce qui suit.

◆ **Calcaires de Brie et de Champigny (FRHG103) - Mécringes**

Les cotes piézométriques des seuils du piézomètre de Mécringes, captant les calcaires de Brie et de Champigny sont présentées par l'illustration 14. À l'examen du graphique, la logique d'attribution des valeurs aux différents seuils (calculés en suivant la procédure décrite ci-avant) et leur évolution au cours des mois apparaît peu évidente, par exemple :

- entre avril et mai, le seuil d'alerte renforcée est équivalent au seuil de crise du mois précédent ;
- en mai et juin le seuil d'alerte passe de 185,18 à 184,99 m NGF, puis repart à la hausse entre juin et juillet, sous forme d'une variation en dents de scie (flèches noires) ;
- la différence entre les cotes des seuils d'alerte renforcée et de crise est parfois très faible (flèches verticales) : par exemple au mois de mai, ces cotes sont respectivement de 184,82 et 184,79 m NGF (soit un écart de 3 cm). L'écart est aussi de 3 cm en juillet (184,72 m et 184,69 m NGF respectivement pour les seuils d'alerte renforcée et de crise).

La variabilité et la discontinuité des seuils conduisent à définir des situations très contrastées d'un mois (alerte renforcée) à l'autre (en alerte seule).

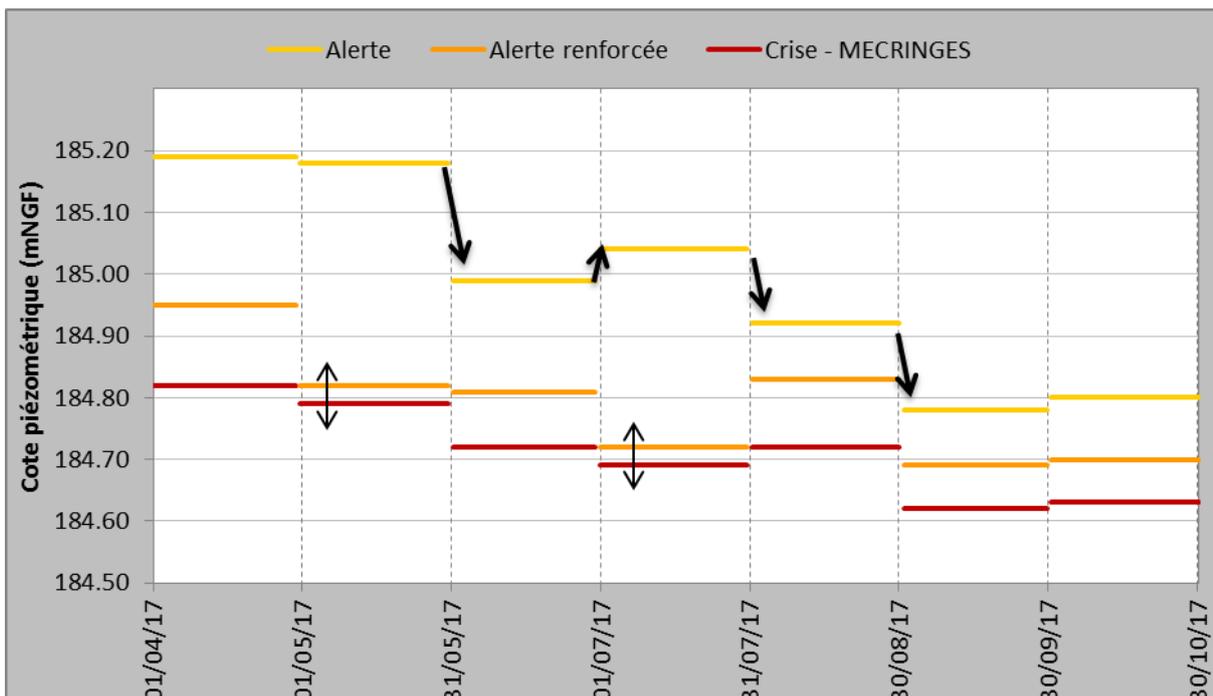


Illustration 14 - Représentation des seuils du piézomètre de Mécringes

L'illustration 15 et l'illustration 16 présentent les niveaux piézométriques de l'année 2014 (pluviométrie excédentaire) et de l'année 2009 (pluviométrie normale) au regard des seuils d'alerte et de crise. En 2014 les seuils n'ont pas été atteints et en 2009 les niveaux demeurent systématiquement sous le seuil de crise.

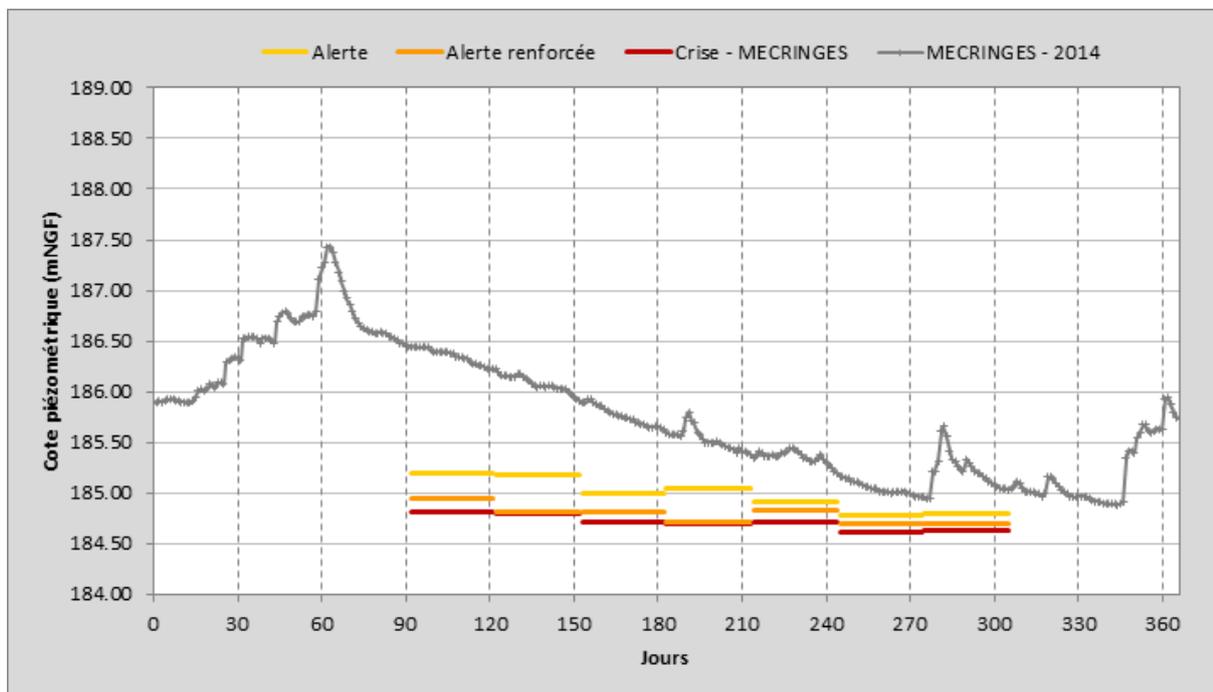


Illustration 15 - Seuils du piézomètre de Mécringes et chronique piézométrique en 2014

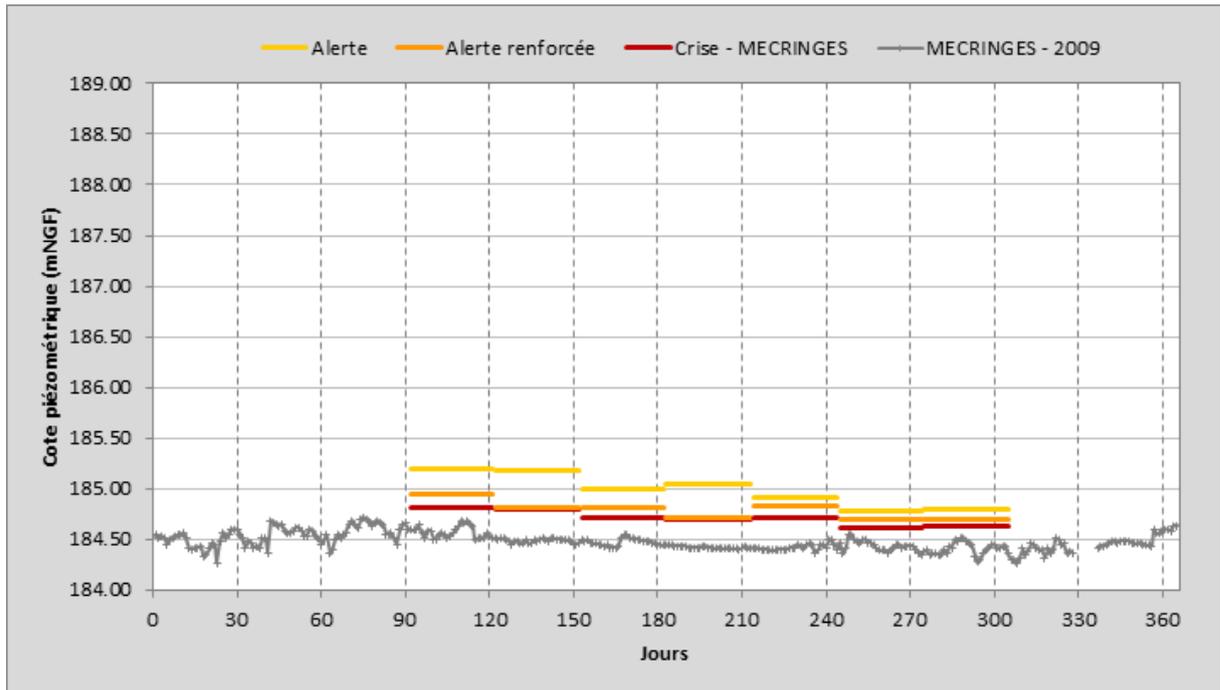
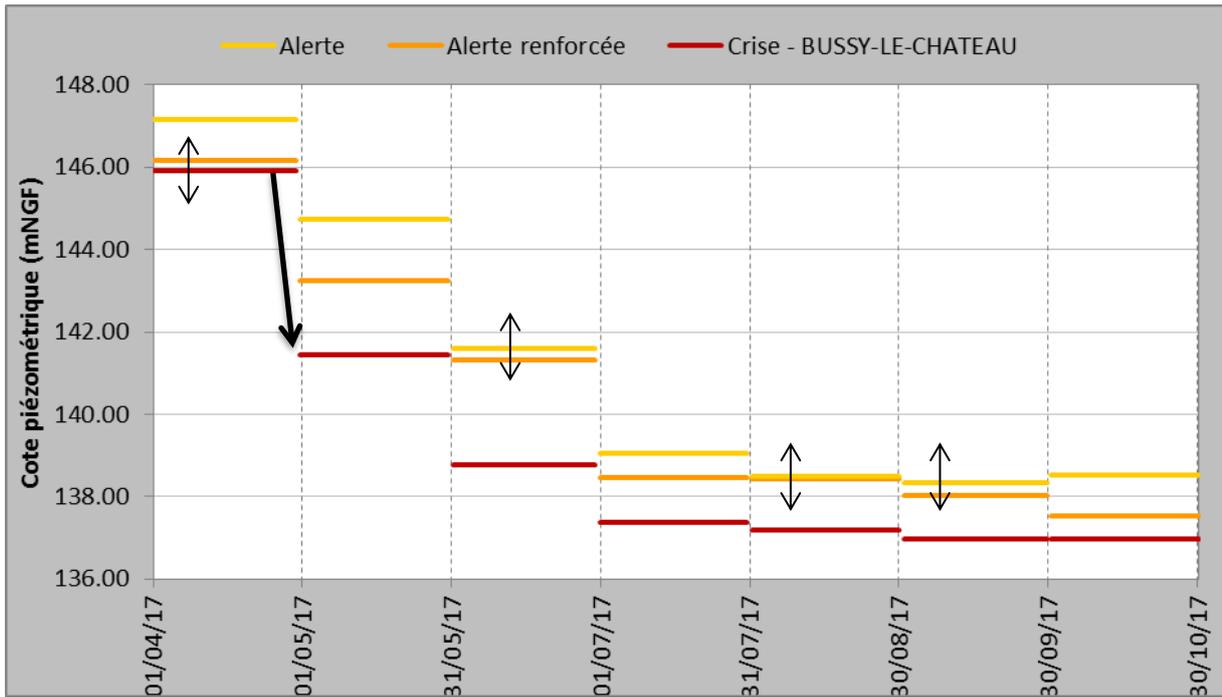


Illustration 16 - Seuils du piézomètre de Mécringes et chronique piézométrique en 2009

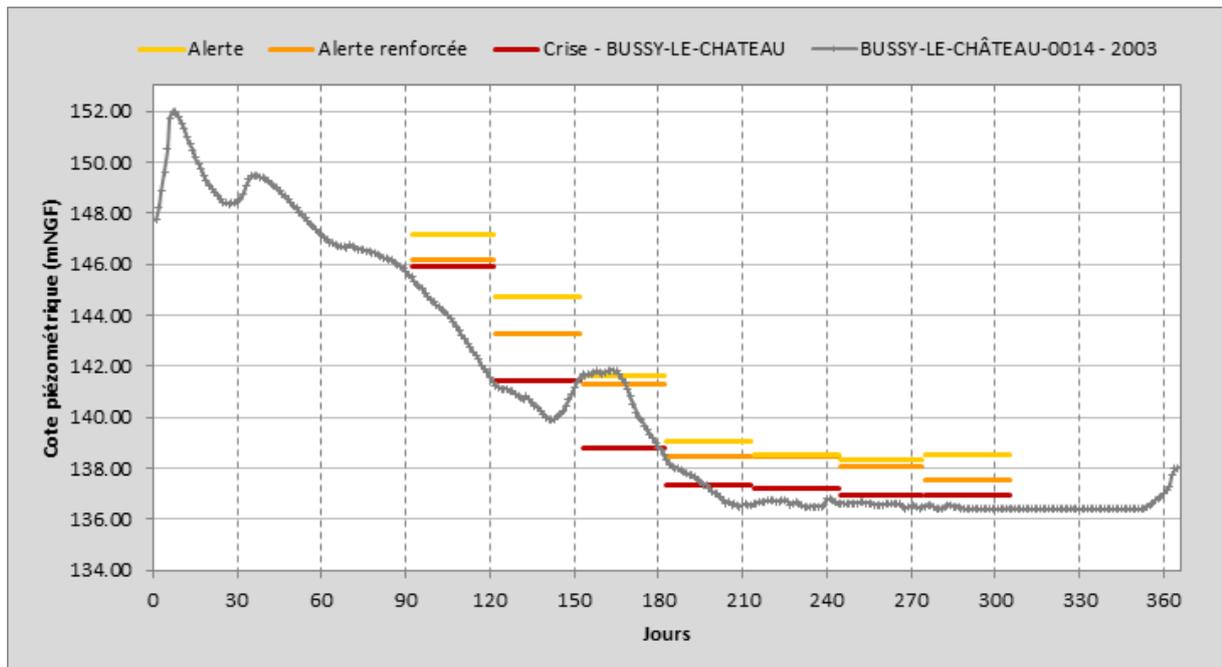
◆ Craie de Champagne Nord (FRHG207) - Bussy-le-Château

Les valeurs des seuils de Bussy-le-Château, captant la craie de Champagne Nord, sont présentées à l'illustration 17. Ce graphique montre que :

- une forte discontinuité des seuils entre les mois d'avril et de mai (flèche noire : le seuil de crise baisse de plus de 2 m d'un mois à l'autre) ;
- au mois de juin et aux mois suivants, la différence entre le seuil d'alerte et le seuil d'alerte renforcée est faible (flèche verticale, en juillet par exemple : 138,50 et 138,44 m NGF, soit 6 cm d'écart seulement entre les seuils).



L'illustration 18 présente l'évolution des cotes piézométriques de l'année 2003 (année sèche) ; il y a franchissement des seuils mensuels sur l'intégralité de la période considérée (les niveaux restent stables du mois d'août jusqu'à la fin de l'année).



◆ Craie de Champagne Sud et centre (FRHG208) - Vailly

Les cotes piézométriques des seuils du piézomètre de Vailly, qui capte la craie de Champagne Sud et Centre, sont présentées par l'illustration 19. Le graphique fait apparaître une forte hausse du seuil de crise entre mai et juin (flèche noire : +1,69 m) puis une forte baisse en juillet (près de 2 m). Cette hausse du seuil de crise se constate aussi, dans une moindre mesure, au mois de septembre.

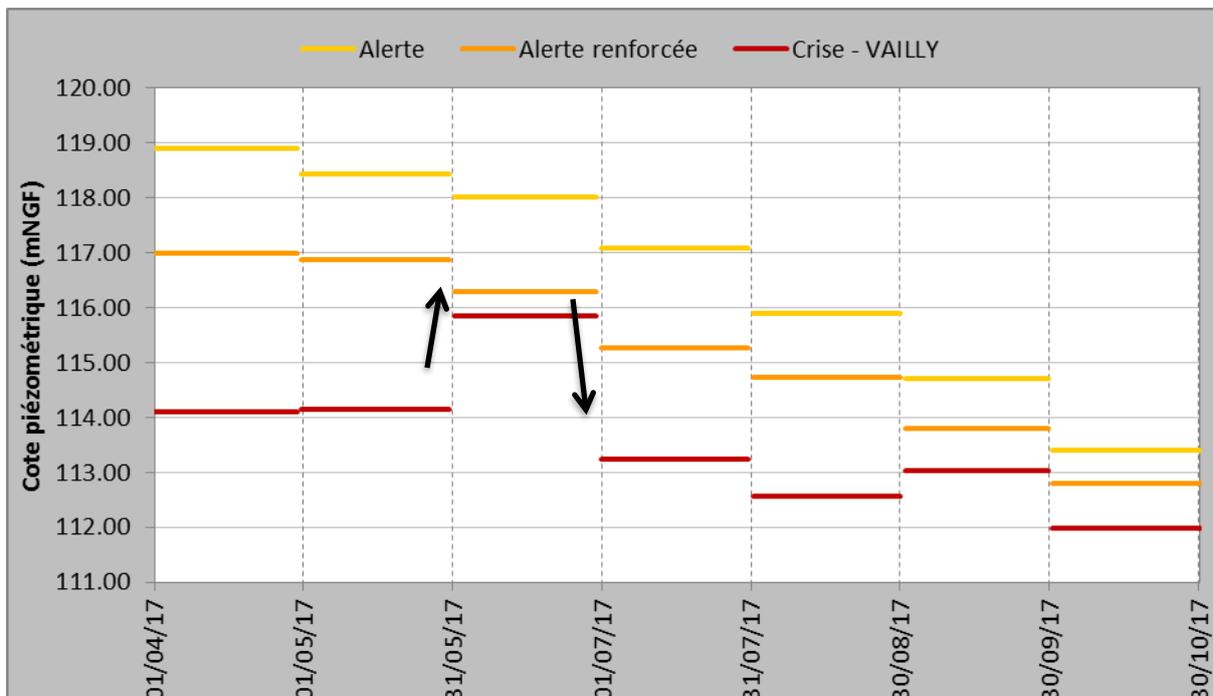


Illustration 19 - Représentation des seuils du piézomètre de Vailly

L'illustration 20 présente l'évolution des cotes piézométriques de l'année 2005 (année sèche) et les seuils de crise mensuels, systématiquement franchis.

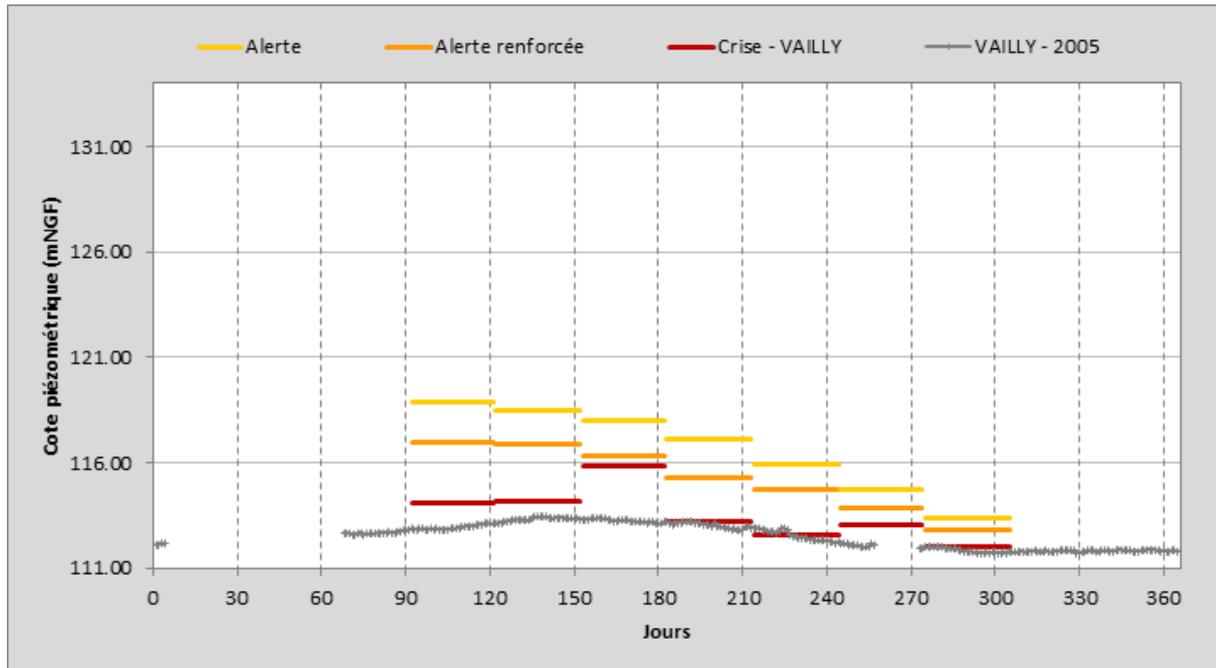


Illustration 20 - Seuils du piézomètre de Vailly et chronique piézométrique en 2005

◆ Craie de Champagne Sud et Centre (FRHG208) - Linthelles

Les cotes piézométriques des seuils du piézomètre de Linthelles, qui capte aussi la craie de Champagne Sud et Centre, sont présentées par l'illustration 21. Le graphique fait apparaître le très faible écart entre les seuils de crise et d'alerte renforcée, fréquemment très proches voire confondus, notamment pour les mois d'avril (2 cm), juillet, août et septembre (flèches verticales).

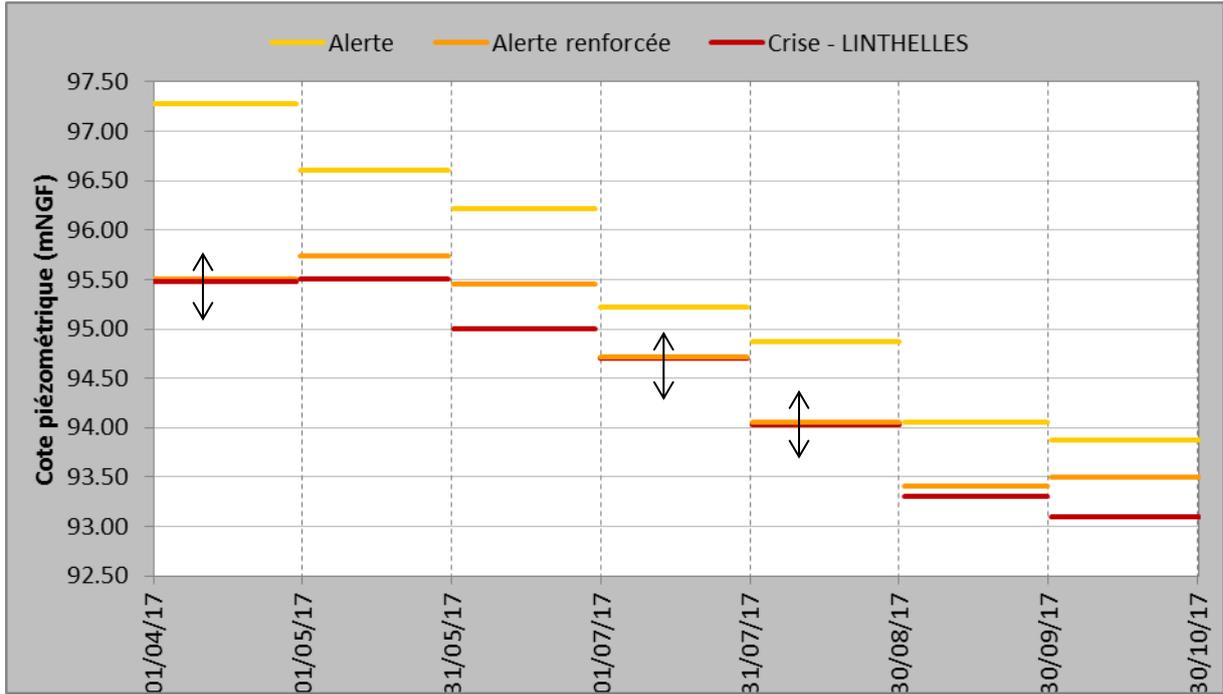


Illustration 21 - Représentation des seuils du piézomètre de Lintelles

◆ Calcaires du Portlandien (FRHG304) - Praslin

Les cotes piézométriques des seuils du piézomètre de Praslin, captant les calcaires du Portlandien, sont présentées sur l'illustration 22. Le graphique montre la grande variabilité des seuils d'un mois à l'autre. On observe aussi que le seuil de crise du mois de juin (185,95 m NGF) est équivalent au seuil d'alerte (185,95 m NGF) du mois de juillet. Il en est de même pour les mois d'août (crise) et de septembre (alerte).

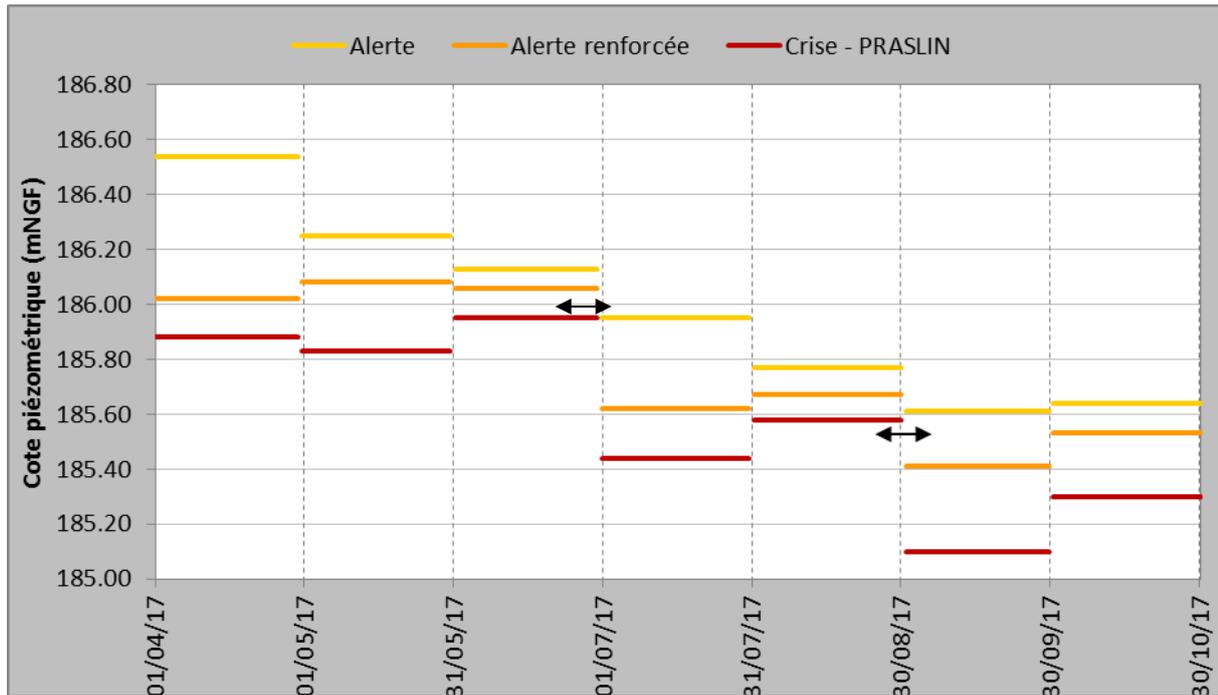


Illustration 22 - Représentation des seuils du piézomètre de Praslin

◆ Synthèse

L'analyse des seuils d'alerte et de crise définis pour les piézomètres de suivi des nappes de Champagne-Ardenne fait apparaître les points faibles suivants :

- existence de discontinuités des seuils d'un mois à l'autre (exemple du piézomètre de Vailly) avec parfois une forte variation à la hausse ou à la baisse, ce qui modifie par conséquent l'appréciation de la situation hydrogéologique d'un mois à l'autre ;
- des seuils de nature différente (crise et alerte renforcée) sont parfois identiques d'un mois au suivant (exemple du piézomètre de Praslin). L'objectif assigné aux différents seuils, à savoir prévenir une situation graduellement plus critique que la précédente, n'est donc pas atteint ;
- les écarts entre différents seuils (crise et alerte renforcée par exemple) pour un même mois sont parfois très faibles (exemple des piézomètres de Mécringes et de Linthelles) et par conséquent non significatifs d'un point de vue hydrogéologique.

Ces observations montrent que le mode de calcul des différents seuils, fixés mensuellement, peut conduire à un biais d'appréciation de la situation réelle des nappes.

Le Tableau 10 synthétise les observations faites à partir de l'analyse des seuils piézométriques. Il rassemble d'une part le plus faible écart entre les seuils d'un même mois et d'autre part la plus forte différence entre seuils (de même nature) entre deux mois. Les valeurs qui pourraient être révélatrices d'une défaillance des seuils vis à vis de leur fonction sont mentionnées en rouge.

	Plus faible écart entre les seuils d'un même mois	Plus forte différence entre seuils (de même niveau) entre deux mois
MECRINGES	3 cm (mai)	0,18 m (mai - juin)
JANVILLIERS	4 cm (septembre)	0,36 m (avril - mai)
HANNOGNE-SAINT-REMY	3 cm (septembre)	0,71 m (juillet - août)
FRESNE-LES-REIMS	25 cm (mai)	2,69 m (juin - juillet)
SEMIDE	8 cm (octobre)	0,37 m (mai - juin)
BUSSY-LE-CHATEAU	6 cm (août)	4,46 m (avril - mai)
GRANDES-LOGES(LES)	33 cm (juin)	2,8 m (mai - juin)
VANAULT-LE-CHATEL	15 cm (octobre)	1,96 m (Avril - mai)
VAILLY	45 cm (juin)	2,61 m (juin - juillet)
SOMPUIS	19 cm (octobre)	1,48 m (juillet - août)
LINTHELLES	2 cm (avril)	1 m (juin - juillet)
ORVILLIERS-SAINT-JULIEN	19 cm (mai)	2,23 m (juillet - août)
VILLELOUP	4 cm (septembre)	2,09 m (juin - juillet)
SAINT-HILAIRE-SOUS-ROMILLY	26 cm (août)	2,11 m (mai - juin)
SAULSOTTE(LA)	5 cm (octobre)	1,43 m (juin - juillet)
BOUVELLEMONT	5 cm (août)	0,25 m (mai - juin)
PRASLIN	7 cm (juin)	0,50 m (juin - juillet)
SILVAROUVRES	5 cm (août)	0,25 m (avril - mai)
LASSICOURT	1 cm (juin)	0,14 m (mai - juin)

Tableau 10 - Synthèse des observations sur les seuils piézométriques

Les seuils non décrits dans cette partie sont reportés sur des graphiques rassemblés en Annexe 1 du rapport.

2.1.8. Franchissement des seuils piézométriques

Sur la base des seuils définis dans la notice d'orientation régionale 2015 de Champagne-Ardenne pour les 19 piézomètres couvrant les 8 unités hydrogéologiques, le nombre de franchissement de seuils « théorique » a été calculé *a posteriori* et l'analyse a porté sur la période 2000-2016. Les calculs ont été effectués pour les mois d'avril à octobre, sur la base des données de piézométrie fournies par ADES. Au moment de l'étude les données de l'année 2016 sont disponibles jusqu'en septembre (soit 118 mois à partir de 2000). Les dépassements de seuils sont établis pour chaque piézomètre lorsque la moyenne des niveaux piézométriques du mois est inférieure à la cote du seuil de ce même mois.

Le résultat des calculs (tous piézomètres confondus) est présenté par le diagramme de l'illustration 23 qui fournit l'évolution dans le temps du nombre de franchissement des différents seuils. Ce diagramme montre que les années 2003 à 2005 et 2009 et 2010 totalisent plus de 30 franchissements de seuils (tous seuils confondus). Il est à noter qu'il s'agit d'années particulièrement déficitaires d'un point de vue pluviométrique, notamment 2003, 2005 et 2010.

A l'inverse, les années 2001, 2008 et 2013 présentent peu de franchissement de seuils ; elles sont caractérisées par des pluviométries annuelles (ou précédant l'année en question) supérieures aux normales sur le territoire.

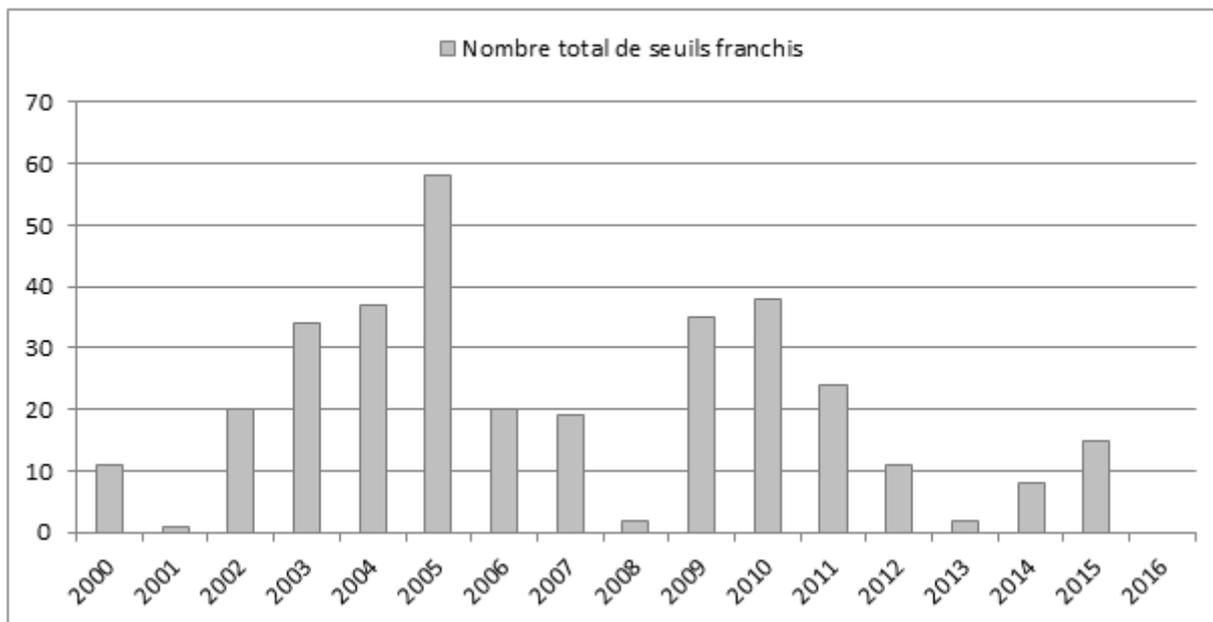


Illustration 23 - Nombre de total de seuils franchis par année, sur l'ensemble des piézomètres de suivi

L'illustration 24 décompose l'histogramme des franchissements de seuils totaux suivant la nature des seuils (alerte, alerte renforcée, crise). Il est à noter l'importance majeure des franchissements de seuils d'alerte (183) puis des seuils d'alerte renforcée (75) et de crise (77).

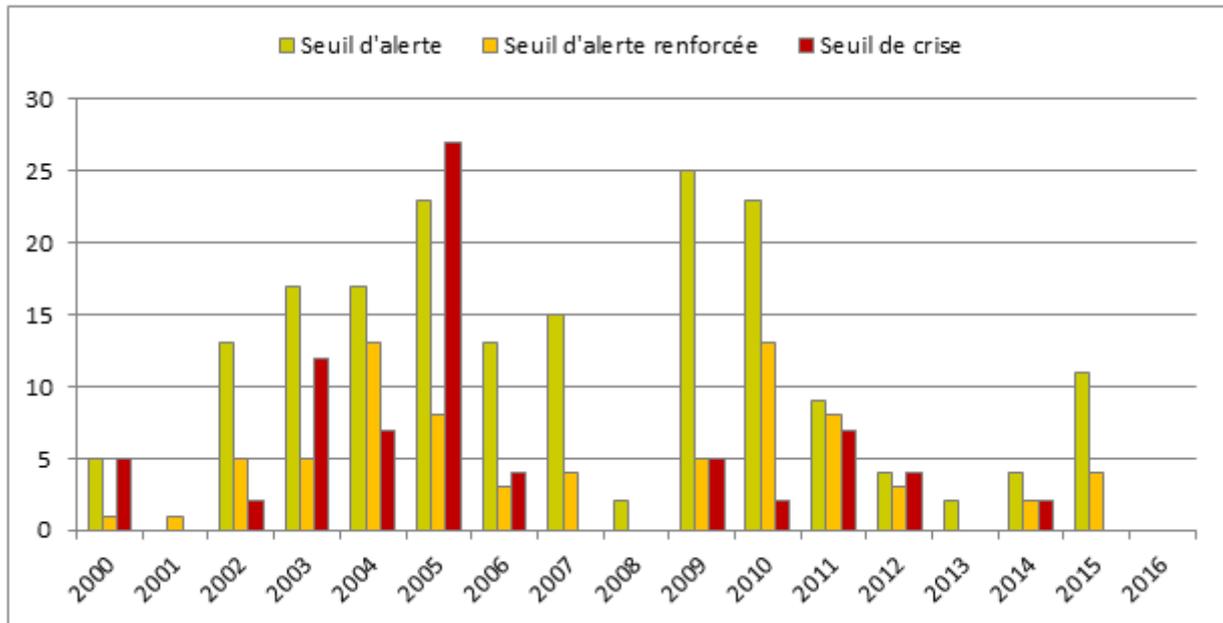


Illustration 24 - Nombre de total de seuils franchis par type de seuils et par année, sur l'ensemble des piézomètres de suivi

Dans ce qui suit, on s'intéresse aux masses d'eau souterraine et aux piézomètres où l'on observe, d'après le calcul *a posteriori*, le plus de franchissements de seuils.

Remarque : L'analyse a été faite sur la période 2000-2016 mais sur les graphiques d'évolution des niveaux ci-après sur lesquels ces seuils ont été superposés, la totalité de la période de mesures est prise en compte (à titre indicatif).

◆ Calcaire de Brie et de Champigny (FRHG103)

Les Calcaires de Brie et de Champigny sont suivis par les piézomètres de Janvilliers et Mécringes. Les dépassements de seuils au droit de ces piézomètres sont les plus importants de la région Champagne-Ardenne, ils se produisent respectivement sur 58 mois (ou occurrences) et 46 mois (Illustration 25 et Illustration 26) sur les 118 mois analysés. L'état qualifié de « normal » indiqué sur les graphiques ci-après correspond à une absence de dépassement de seuils. Les dépassements n'ont parfois pas pu être calculés en raison de l'absence de données sur un mois spécifique, ce qui est précisé dans les représentations graphiques par « Pas de données ».

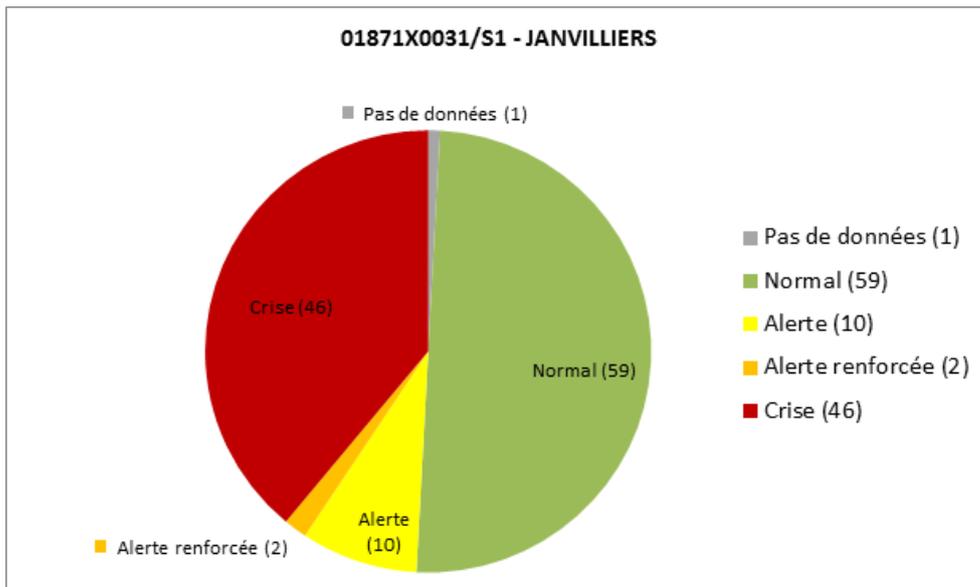


Illustration 25 - Occurrence des dépassements de seuils – Piézomètre de Janvilliers

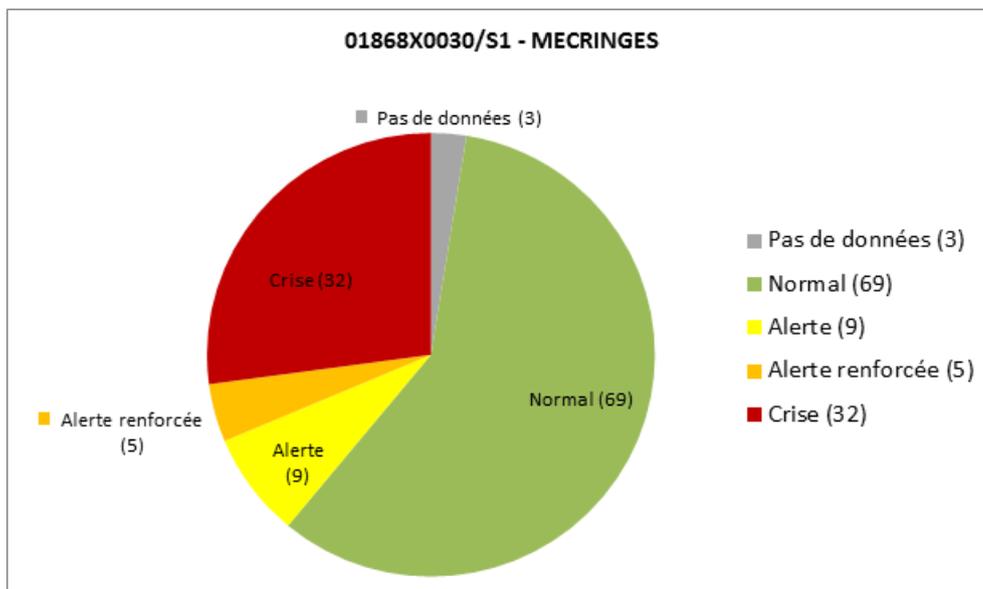


Illustration 26 - Occurrence des dépassements de seuils – Piézomètre de Mécringes

L'illustration 27 présente la chronique piézométrique de Mécringes ainsi que les seuils de crise minimum (le plus haut au mois d'avril) et maximum (le plus bas au mois de septembre). La chronique présente une cyclicité annuelle et pluriannuelle (ponctuée de cycles haut et bas) ayant pour conséquence des franchissements de seuils durables. C'est le cas durant 3 années consécutives (2004 à 2006, encadrant l'année de sécheresse 2005). L'illustration 28 présente le cas de l'année 2005 où tous les seuils (y compris le seuil de risque) sont systématiquement franchis.

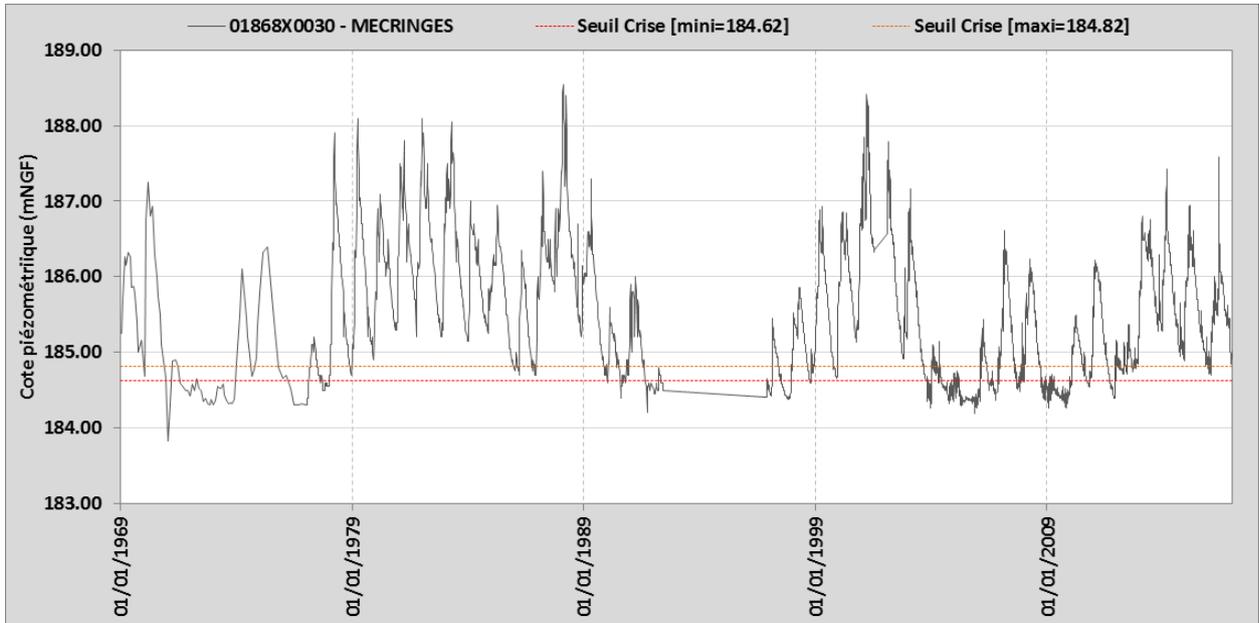


Illustration 27 - Chronique piézométrique de Mécringes

Il en est de même au piézomètre de Janvilliers.

D'après l'analyse des volumes totaux prélevés, cet aquifère est aussi le plus impacté par les prélèvements annuels en eaux souterraines (75 Mm³ en 2013, usages AEP et domestique).

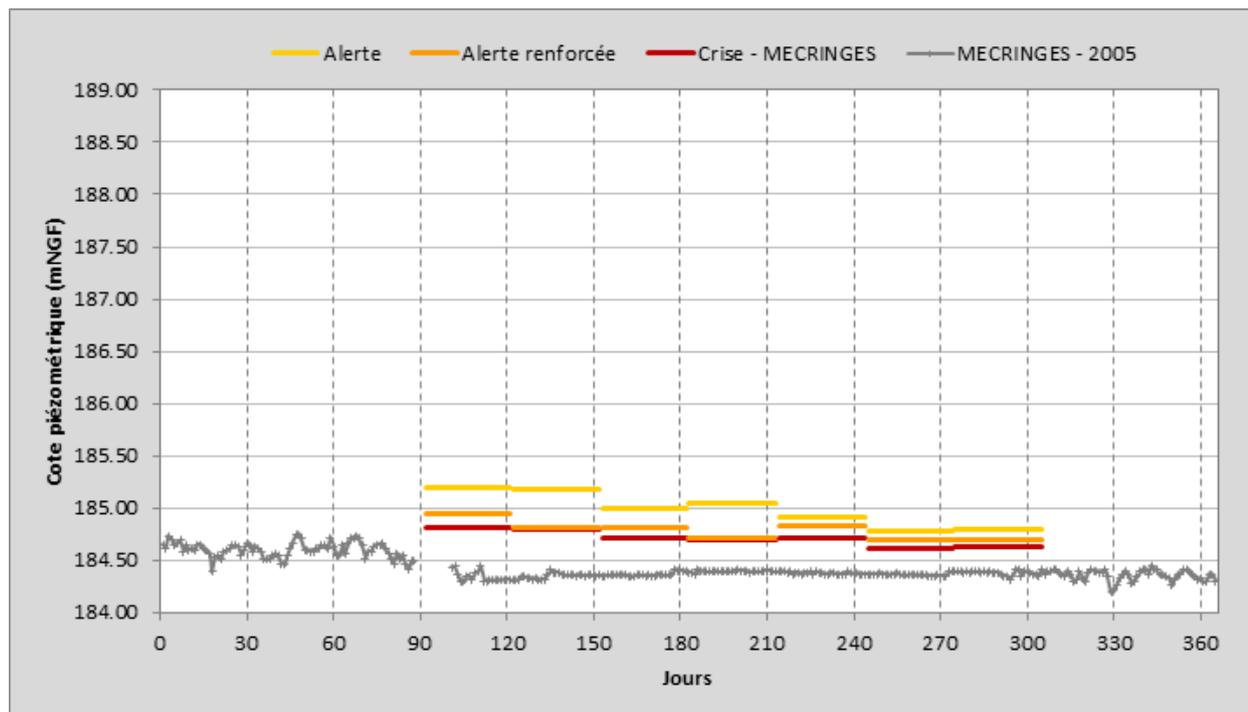


Illustration 28 - Chronique piézométrique de Mécringes en 2005

◆ Craie de Champagne Nord (FRHG207)

La Craie de Champagne Nord est suivie par 4 piézomètres (dont un provisoirement retiré : Bussy-le-Château), il s'agit de Hannogne-Saint-Rémy, Fresnes-les-Reims et Semide.

Les piézomètres de Hannogne-Saint-Rémy (Illustration 29) et Fresnes-les-Reims (Illustration 30) sont concernés par des dépassements de seuils moins de 20 % du temps et 5 % pour le piézomètre de Semide (Illustration 31) mais où les mesures démarrent seulement en 2006, soit après les années de sécheresse 2003 et 2005.

L'illustration 32 présente la chronique piézométrique de Fresnes-les-Reims ; elle est marquée par une cyclicité annuelle et pluriannuelle. Par conséquent, les niveaux piézométriques de certaines années en déficit pluviométrique, sont *de facto* inférieurs aux seuils de crise avant la période estivale. L'aquifère capté est exploité à hauteur de 31 Mm³ en 2013 (AEP et domestique).

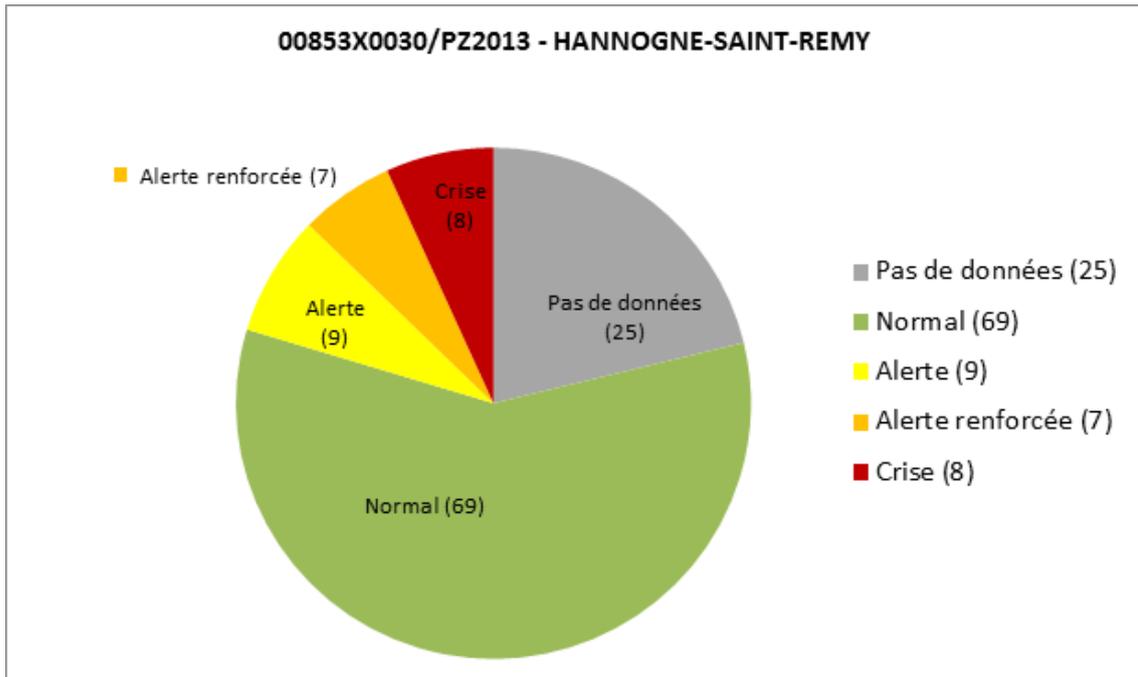


Illustration 29 - Occurrence des dépassements de seuils – Piézomètre de Hannogne-Saint-Rémy

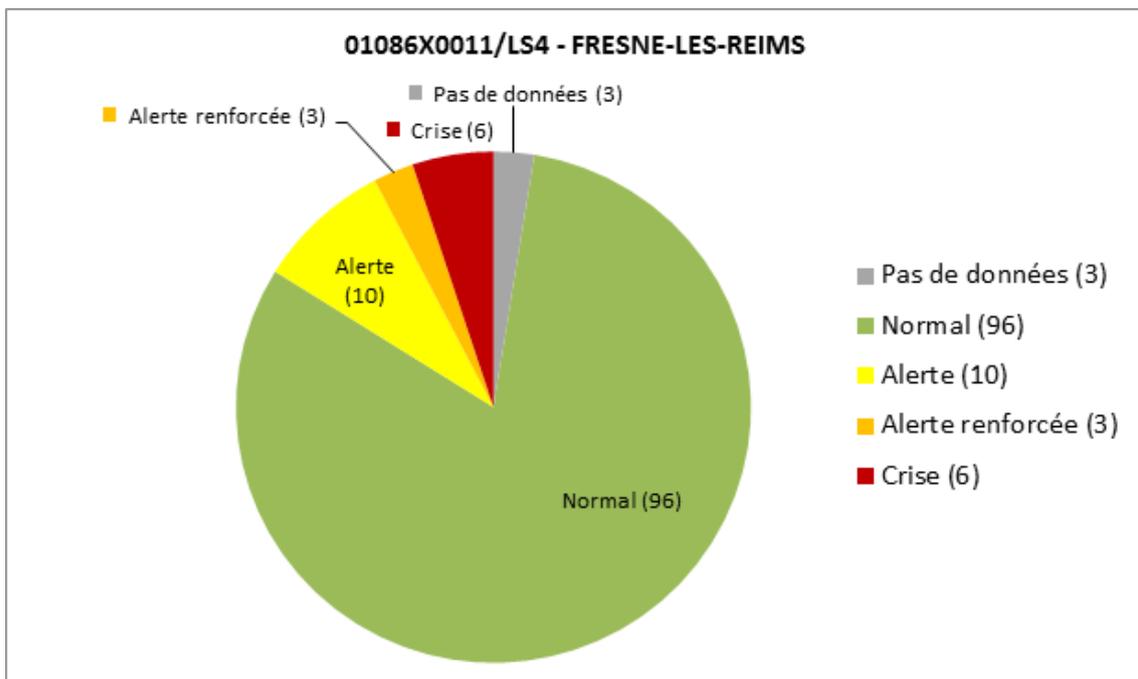


Illustration 30 - Occurrence des dépassements de seuils – Piézomètre de Fresne-les-Reims

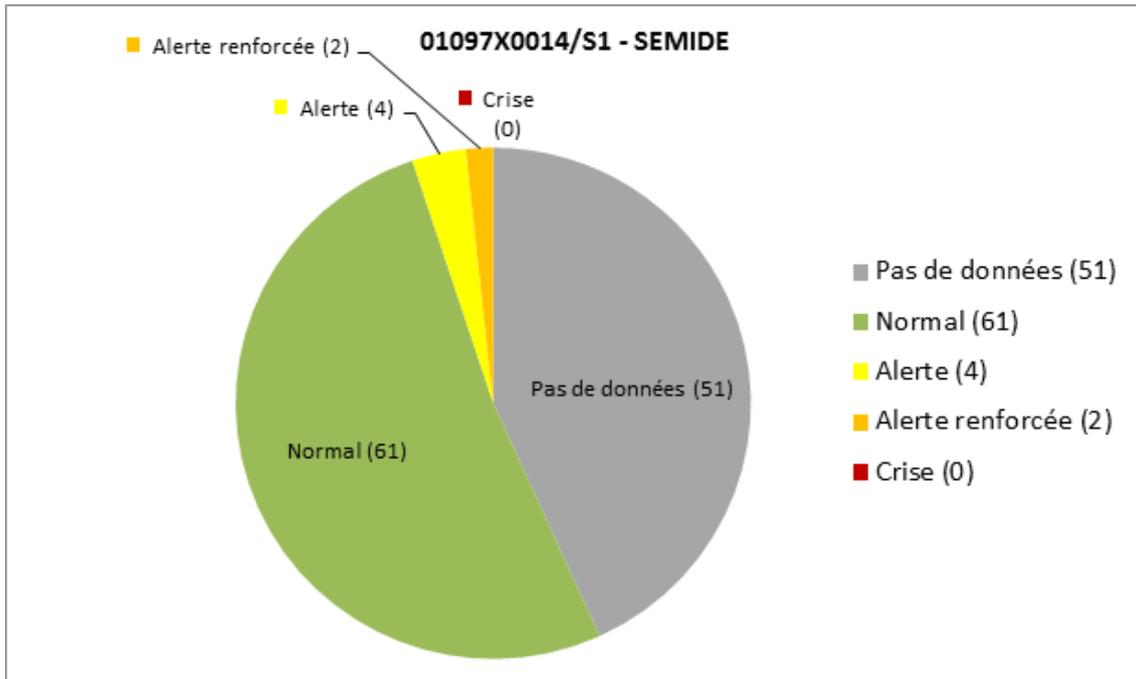


Illustration 31 - Occurrence des dépassements de seuils – Piézomètre de Semide

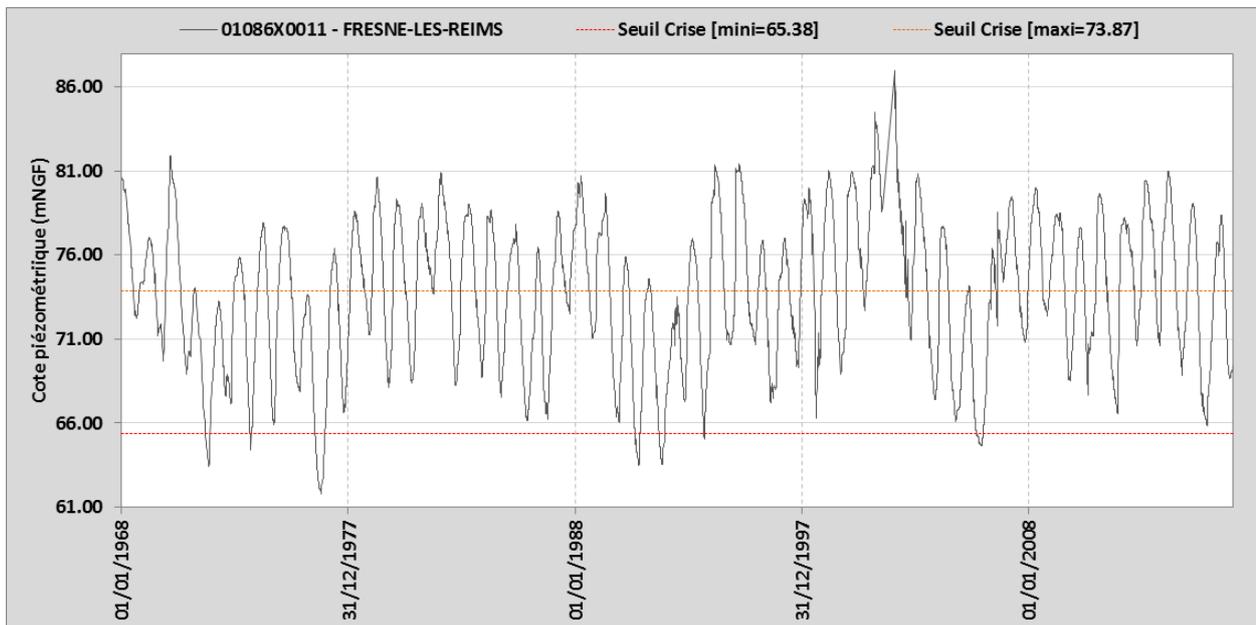


Illustration 32 - Chronique piézométrique de Fresnes-Les-Reims

◆ Craie de Champagne Sud et Centre (FRHG208)

La Craie de Champagne Sud et Centre est suivie par 5 piézomètres : Grandes Loges, Sompuis, Vailly, Linthelles et Vanault-le-Châtel.

Piézomètres de Vanault-le-Châtel et de Linthelles

Ils présentent respectivement un seul et aucun franchissement de seuils. Les chroniques de ces deux piézomètres sont représentées par l'illustration 33 et Illustration 34.

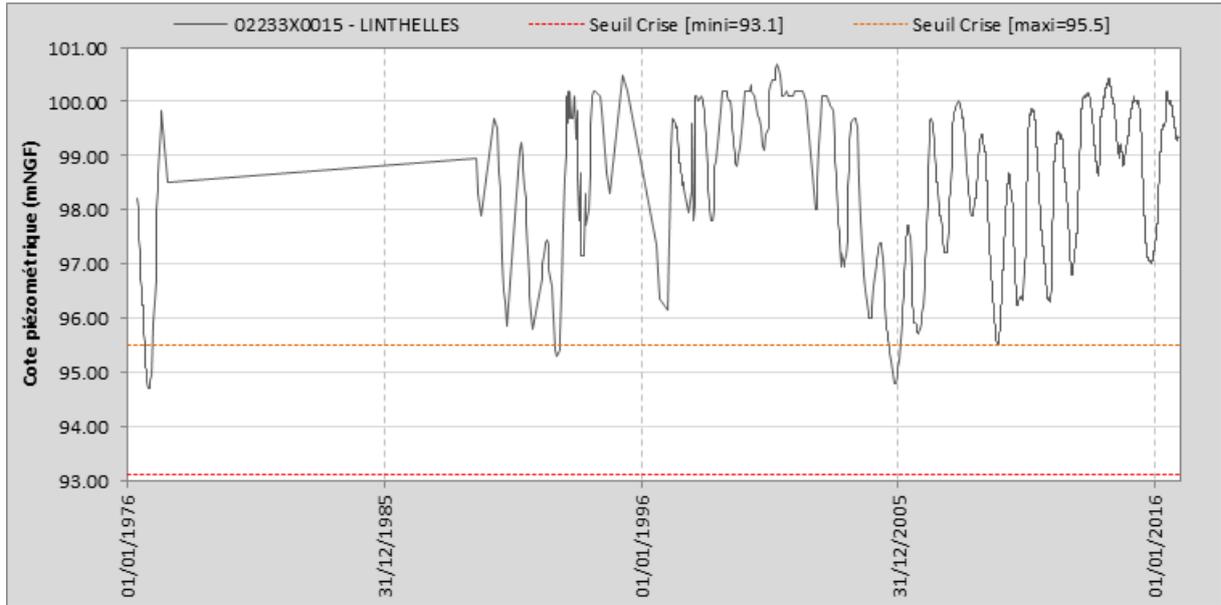


Illustration 33 - Chronique piézométrique de Linthelles

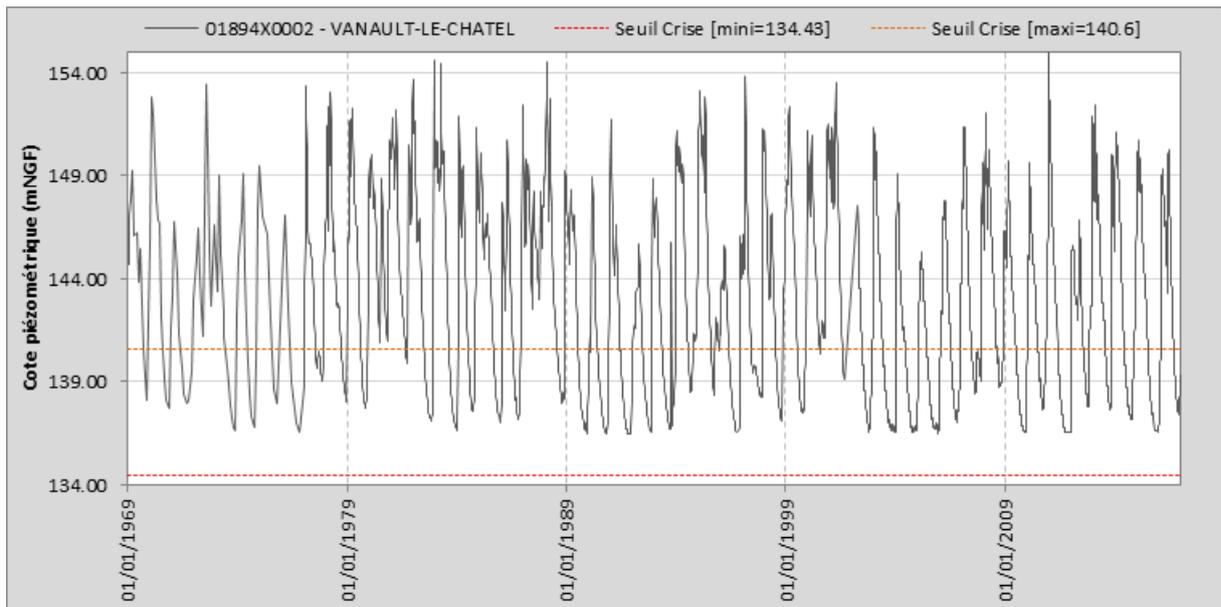


Illustration 34 - Chronique piézométrique de Vanault-le-Châtel

On constate que le seuil de crise minimum (seuil le plus bas parmi l'ensemble des mois) n'est jamais atteint. Comme pour d'autres seuils mentionnés ci-avant, ce constat pose la question du mode d'établissement de ces seuils (condition d'application d'une loi de probabilité).

L'illustration 35 et l'illustration 36 montrent qu'aucun des seuils fixés aux piézomètres de Vanault-le-Châtel et de Linthelles n'est dépassé en 2005. Par ailleurs, les écarts entre seuils (alerte renforcée et crise) sont faibles pour certains mois : août, septembre, octobre à Vanault-le-Châtel, août, septembre à Linthelles.

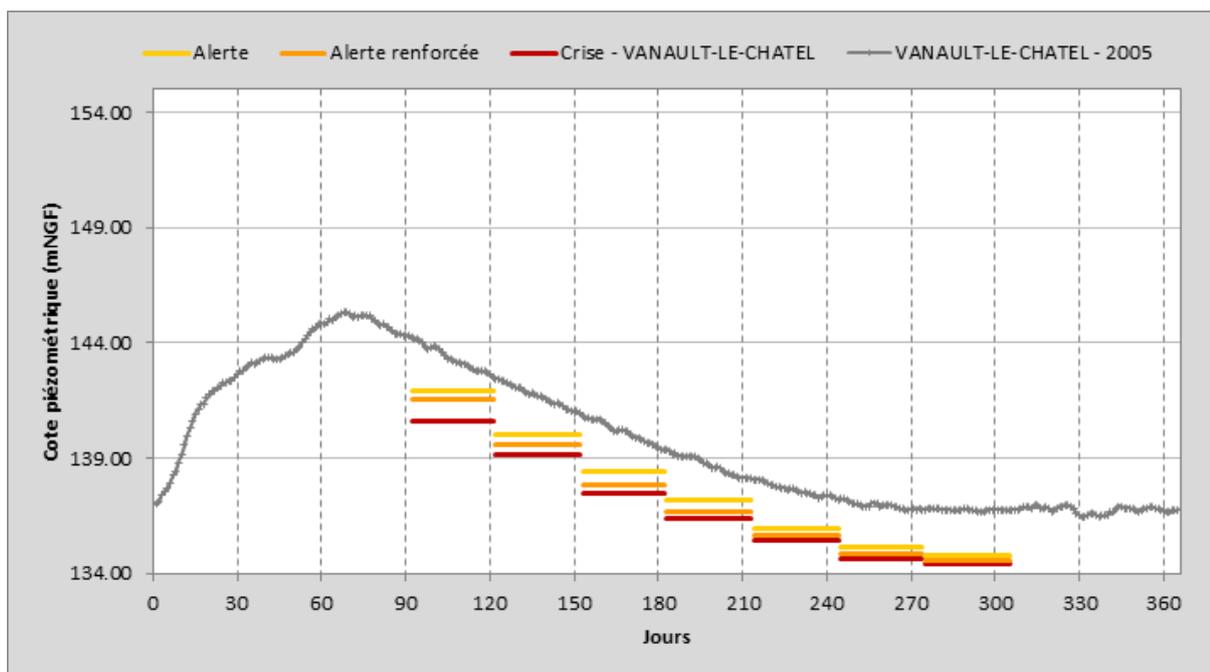


Illustration 35 - Chronique piézométrique de Vanault-le-Châtel en 2005

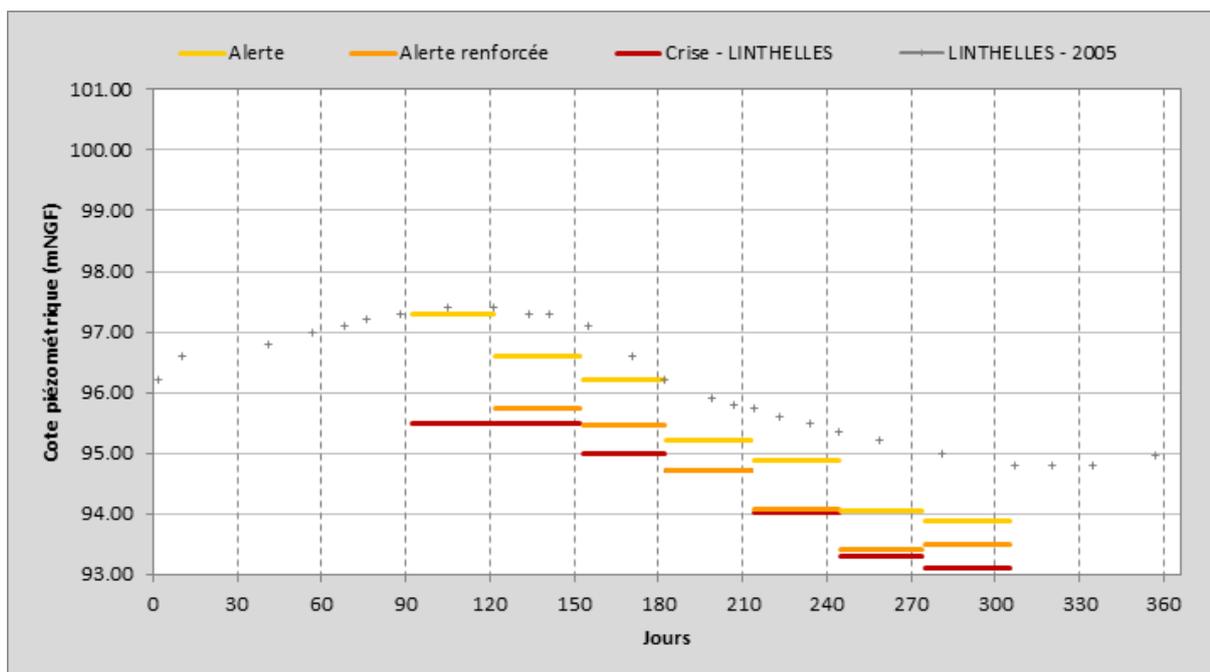


Illustration 36 - Chronique piézométrique de Linthelles en 2005

Piézomètres Les Grandes Loges, Sompuis et Vailly

Ils présentent de 19 à 22 franchissements de seuils (soit environ 20 % du temps). L'aquifère capté est exploité modérément à hauteur de 40 Mm³ en 2013 (AEP).

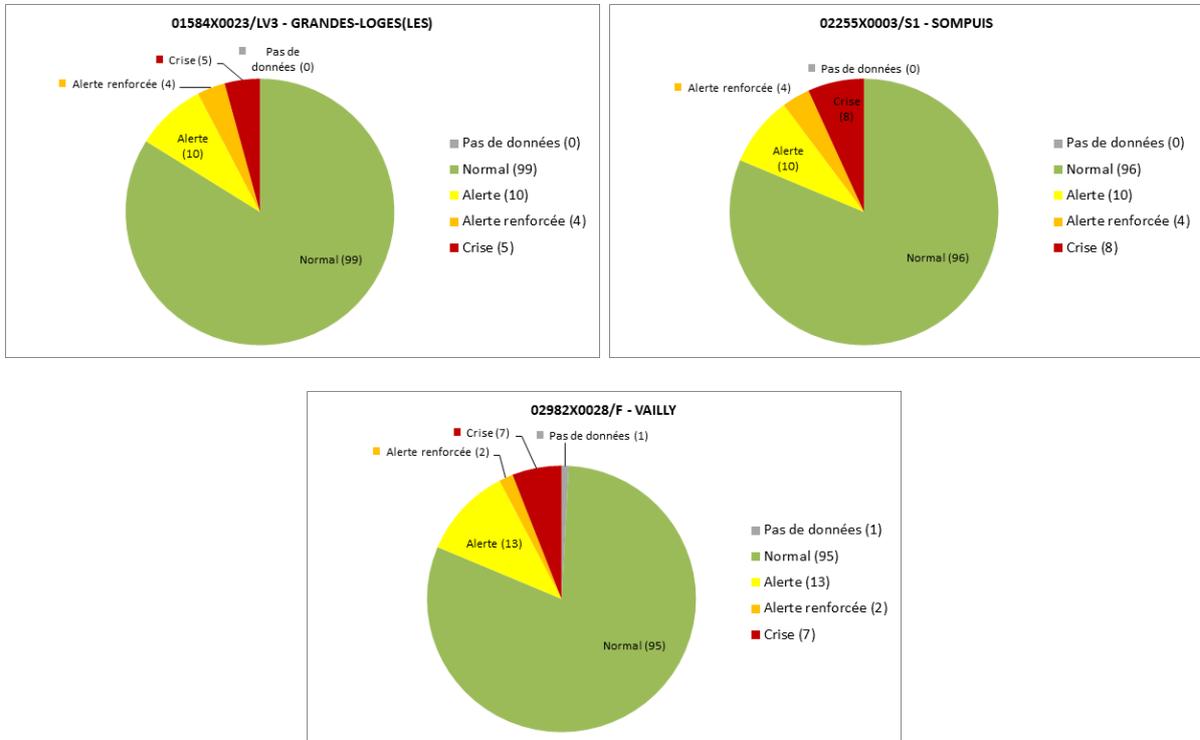


Illustration 37 - Occurrence des dépassements de seuils – Piézomètres Les Grandes Loges, Sompuis et Vailly

Les chroniques piézométriques de ces trois ouvrages, consultables en Annexe 1 du CD joint à ce rapport (fichier *Graphiques_Hac_piézos_suivis.pdf*), présentent une double cyclicité, annuelle et pluriannuelle, pouvant induire un biais dans la définition des seuils (non-respect possible des hypothèses préalables à une analyse probabiliste).

◆ **Craie du Sénonais et pays d’Othe (FRHG209)**

La Craie du Sénonais et pays d’Othe est suivie par 4 piézomètres, il s’agit d’Orvilliers-Saint-Julien, Villeloup, Saulsotte et Saint-Hilaire-sous Romilly.

Ces derniers présentent des résultats homogènes en termes de franchissement de seuils (Illustration 38), entre 22 et 33 occurrences, soit de 19 à 28 % du temps. Cet aquifère est sollicité par des prélèvements importants, de l’ordre de 62 Mm³ (AEP et domestique, en 2013).

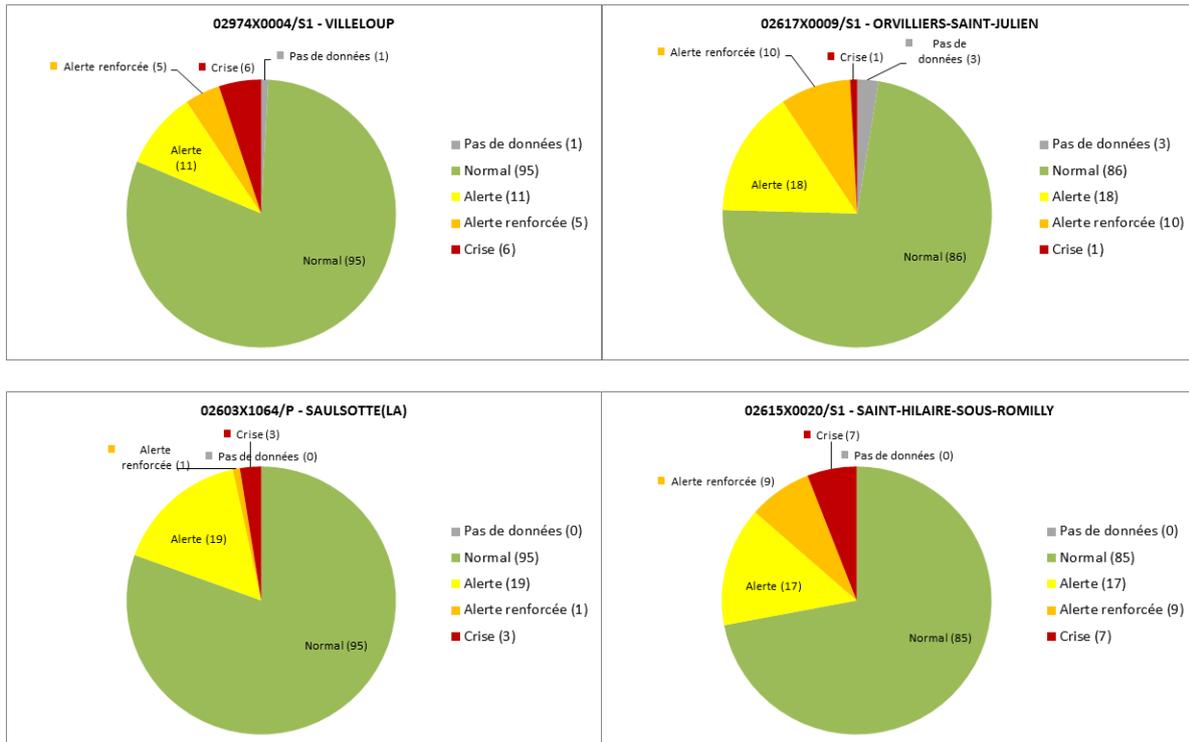


Illustration 38 - Occurrence des dépassements de seuils – Piézomètres de Villeloup, Orvilliers-Saint-Julien, La Saulotte et Saint-Hilaire-sous-Romilly

Ces ouvrages présentent des chroniques piézométriques à cyclicité annuelle, cependant le piézomètre de la Saulotte (Illustration 39) semble traduire un comportement plus marqué à double cyclicité, annuelle et pluriannuelle, pouvant introduire un biais dans le calcul probabiliste des seuils.

La chronique piézométrique de Villeloup (Illustration 40), présente, à l'inverse, une cyclicité annuelle plus marquée, les périodes de très hautes eaux et très basses demeurent corrélées aux autres piézomètres.

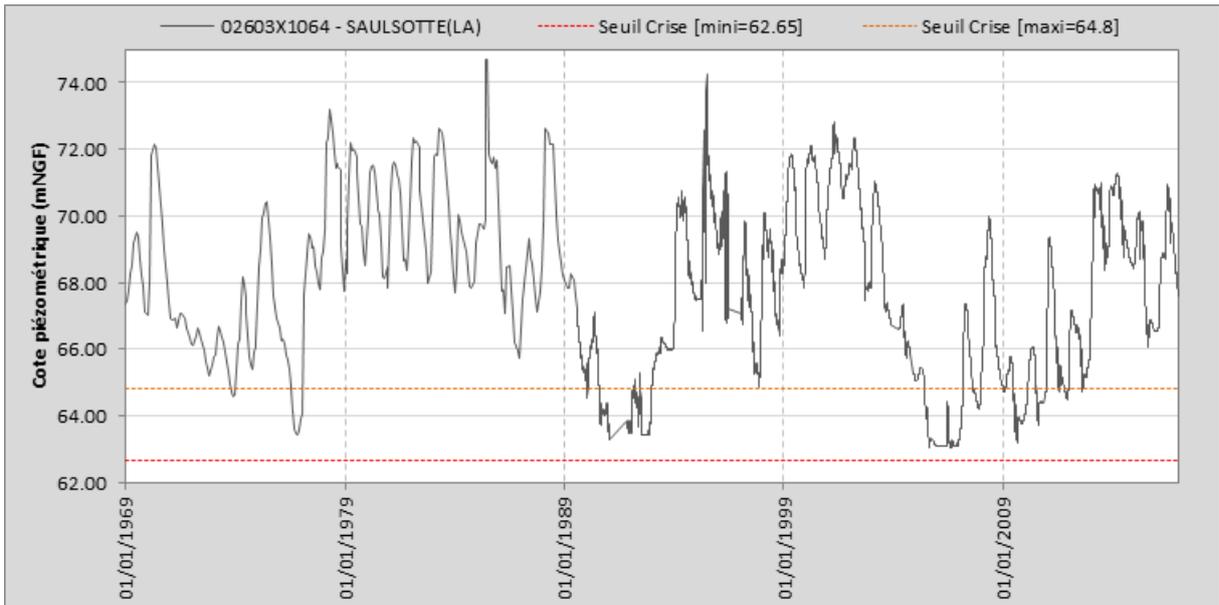


Illustration 39 - Chronique piézométrique de la Saulsotte

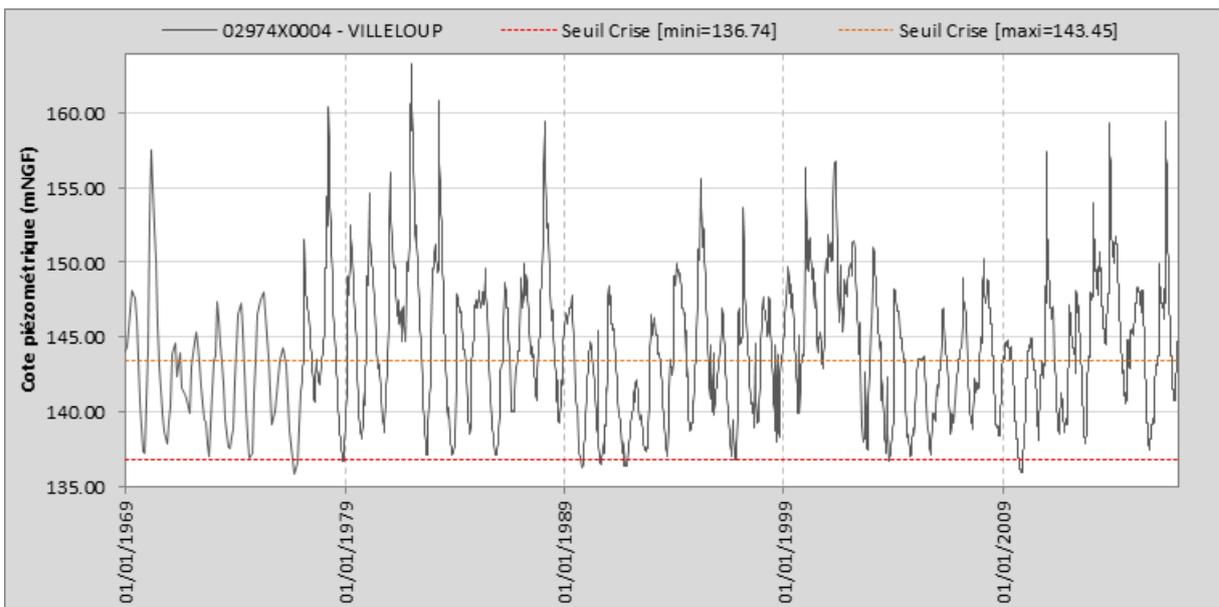


Illustration 40 - Chronique piézométrique de Villeloup

◆ Calcaires de l'oxfordien (FRHG305, code NORS E)

Ce secteur des calcaires de l'Oxfordien, exploité à hauteur de 3 Mm3 (2013, AEP et domestique) est suivi par le piézomètre de Bouvellemont. Les franchissements de seuils sont au nombre de 48 (Illustration 41) soit environ 40 % du temps. La chronique piézométrique (Illustration 42) montre nettement une faible discrimination des différents seuils.

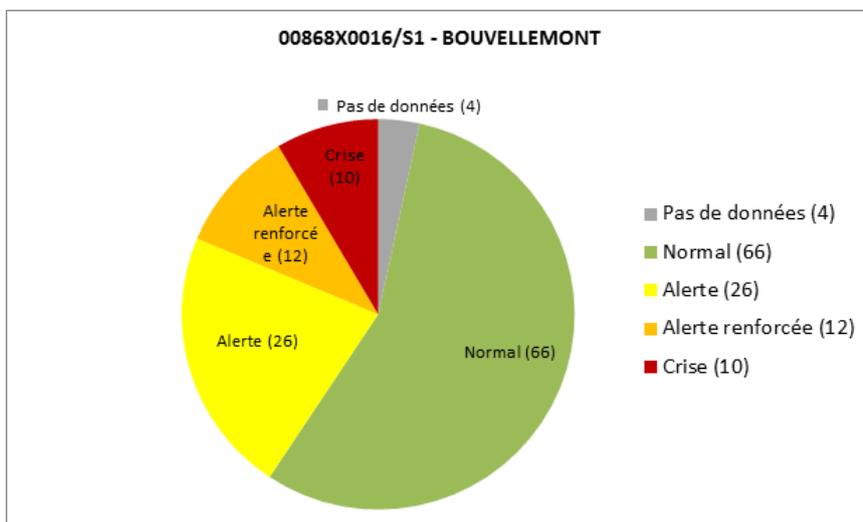


Illustration 41 - Occurrence des dépassements de seuils – Piézomètre de Bouvellemont

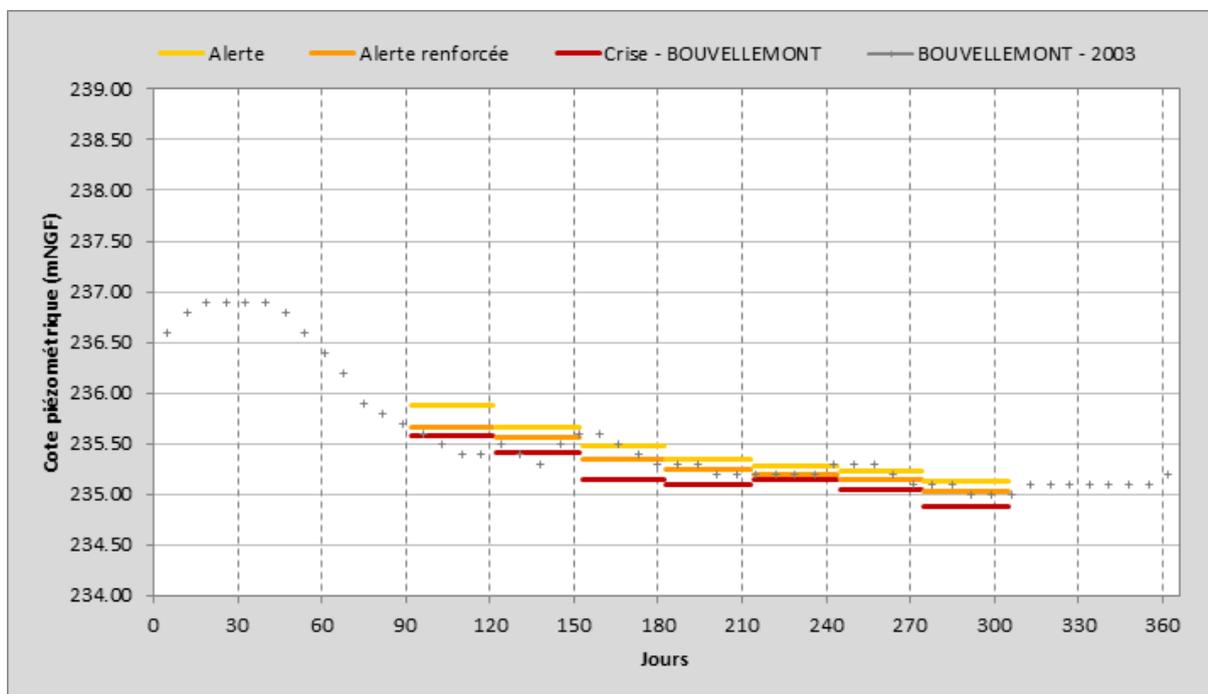


Illustration 42 - Chronique piézométrique de Bouvellemont en 2003

◆ Calcaire du Portlandien (FRHG304)

Les calcaires du Portlandien, exploités à hauteur de 5 Mm3 (2013, AEP et domestique) sont suivis par le piézomètre de Praslin. Les franchissements de seuils (Illustration 43) sont au nombre de 39 (soit 33 % du temps). On notera sur l'illustration 44 les très faibles écarts qui séparent les différents seuils les uns des autres (année 2005). La chronique piézométrique, de 1976 à 2016 est marquée par une cyclicité annuelle.

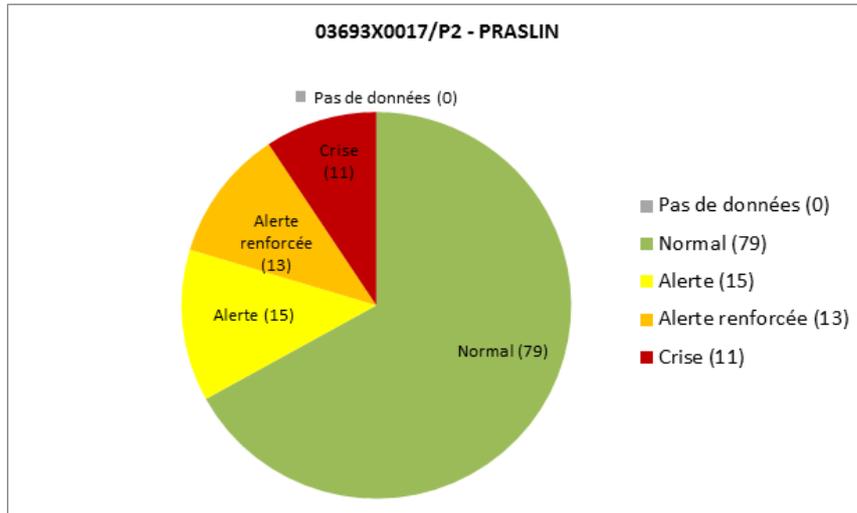


Illustration 43 - Occurrence des dépassements de seuils – Piézomètre de Praslin

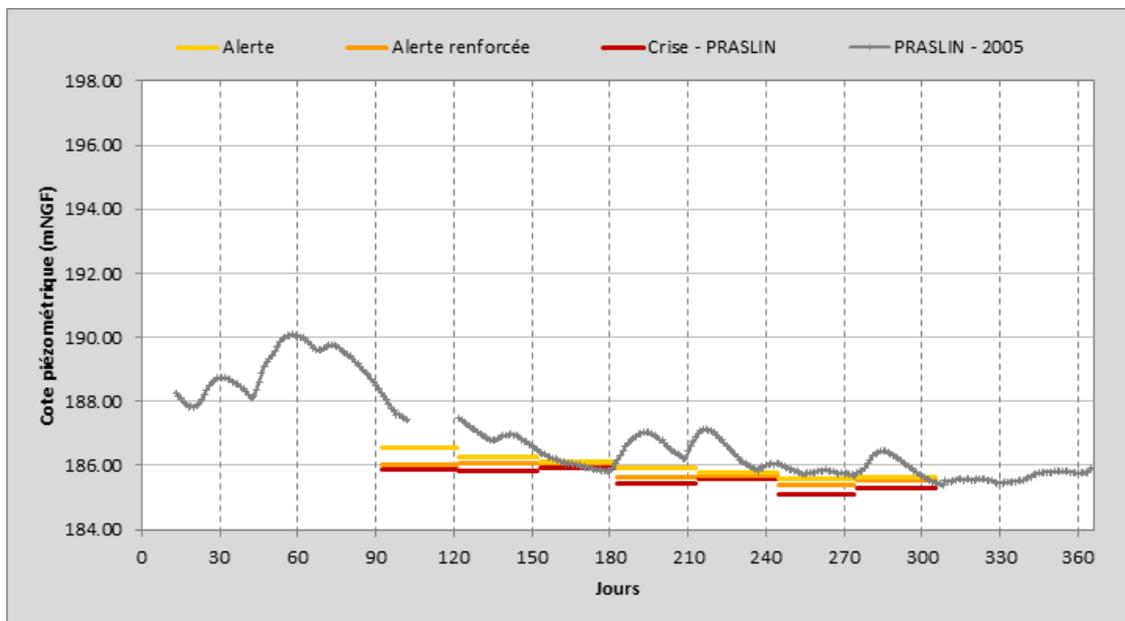


Illustration 44 - Chronique piézométrique de Praslin en 2005

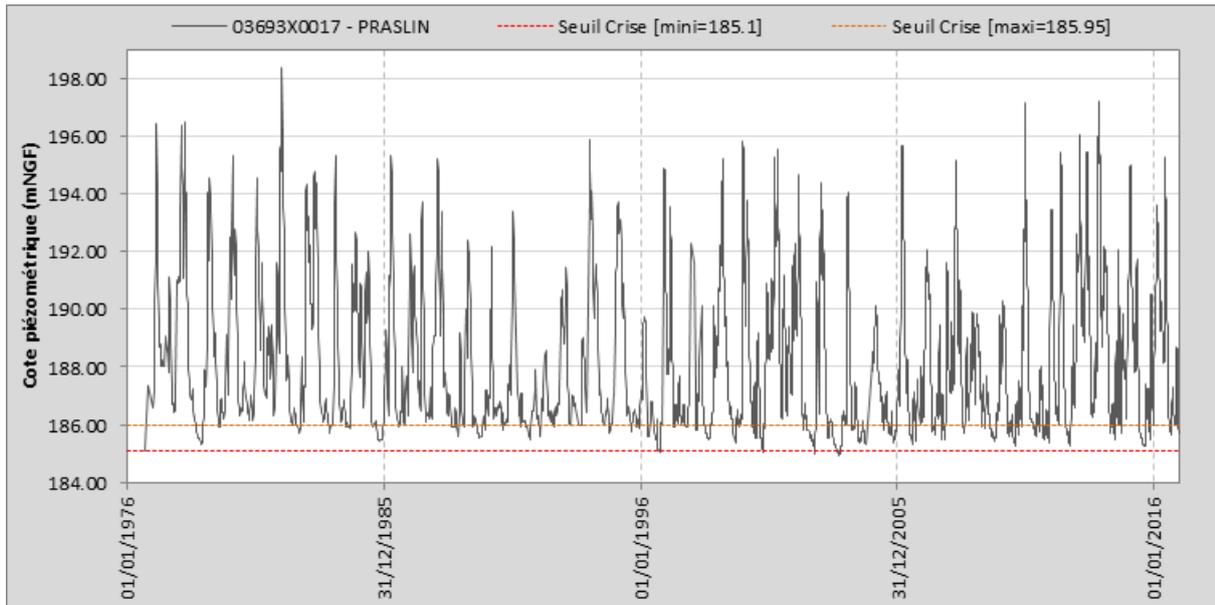


Illustration 45 - Chronique piézométrique de Praslin

◆ Calcaire de l'Oxfordien (FRHG306, code NORS G)

Ce secteur des calcaires de l'Oxfordien, exploité à hauteur de 4 Mm³ (2013, AEP et domestique) est suivi par le piézomètre de Silvarouvres. Les franchissements de seuils sont au nombre de 35 (Illustration 46), soit 30 % du temps. On notera aussi pour ce piézomètre le faible écart qui sépare les seuils devant l'amplitude de variation de la chronique piézométrique (Illustration 47). L'illustration 48 présente la chronique piézométrique dans son intégralité ; elle est caractérisée par une cyclicité annuelle.

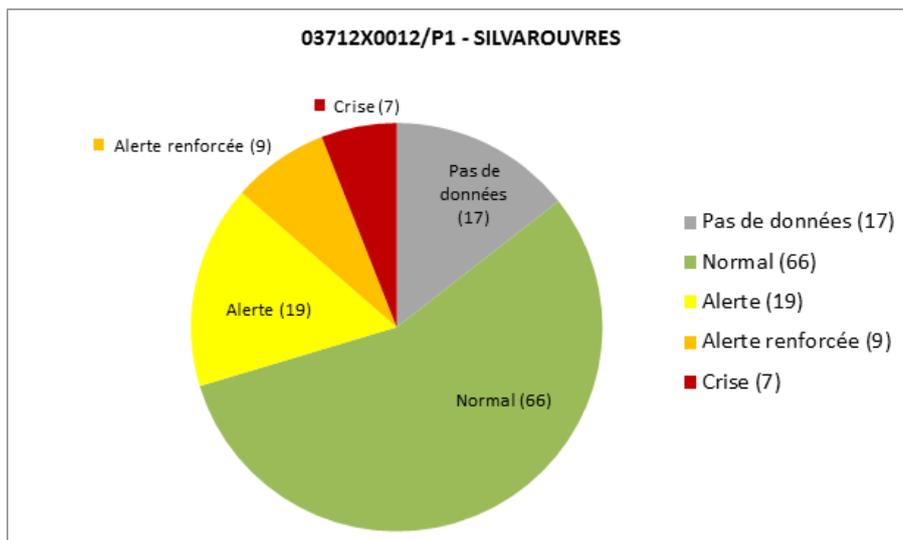


Illustration 46 - Occurrence des dépassements de seuils – Piézomètre de Silvarouvres

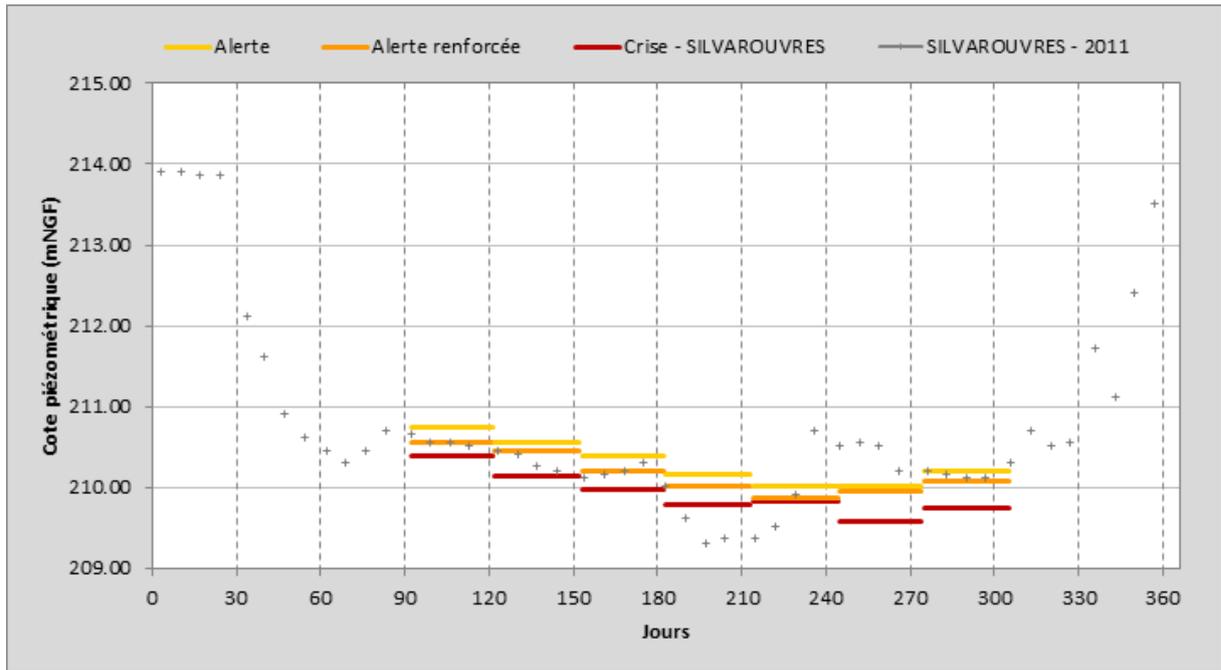


Illustration 47 - Chronique piézométrique de Silvarouvres en 2011

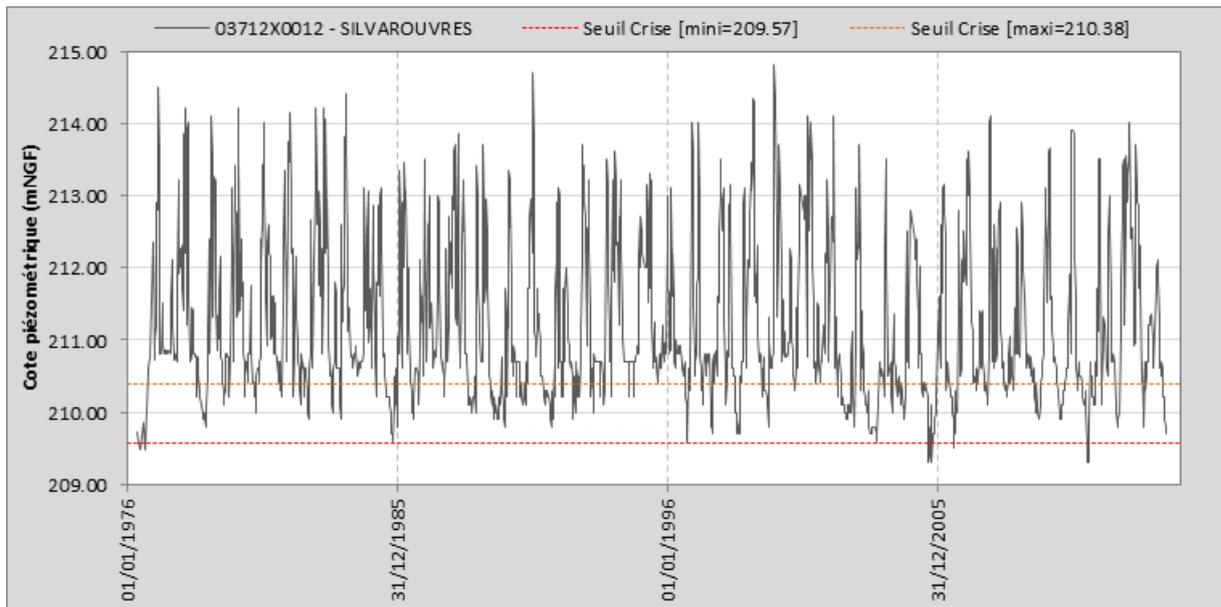


Illustration 48 - Chronique piézométrique de Silvarouvres

◆ **Nappe de Brienne (FRHG008)**

La nappe de la Brienne, exploitée à hauteur de 0,8 Mm3 (2013, AEP et domestiques) est suivie par le piézomètre de Lassicourt. Les franchissements de seuil (Illustration 49) sont au nombre de 14 (soit 12 % du temps).

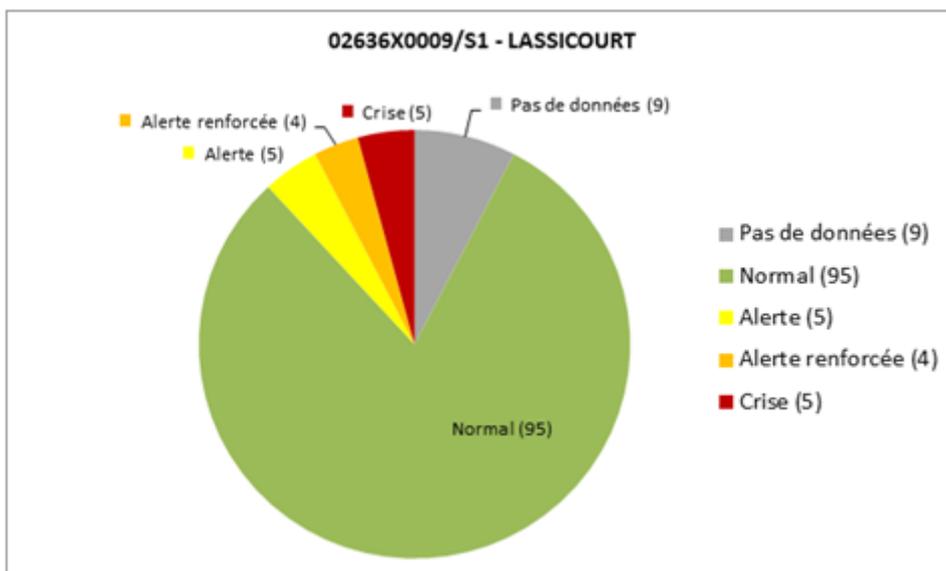


Illustration 49 - Occurrence des dépassements de seuils – Piézomètre de Lassicourt

L'illustration 50 présente l'évolution du niveau piézométrique en 2004, à la suite d'une année en déficit pluviométrique. On constate que les niveaux demeurent presque tangents aux seuils établis.

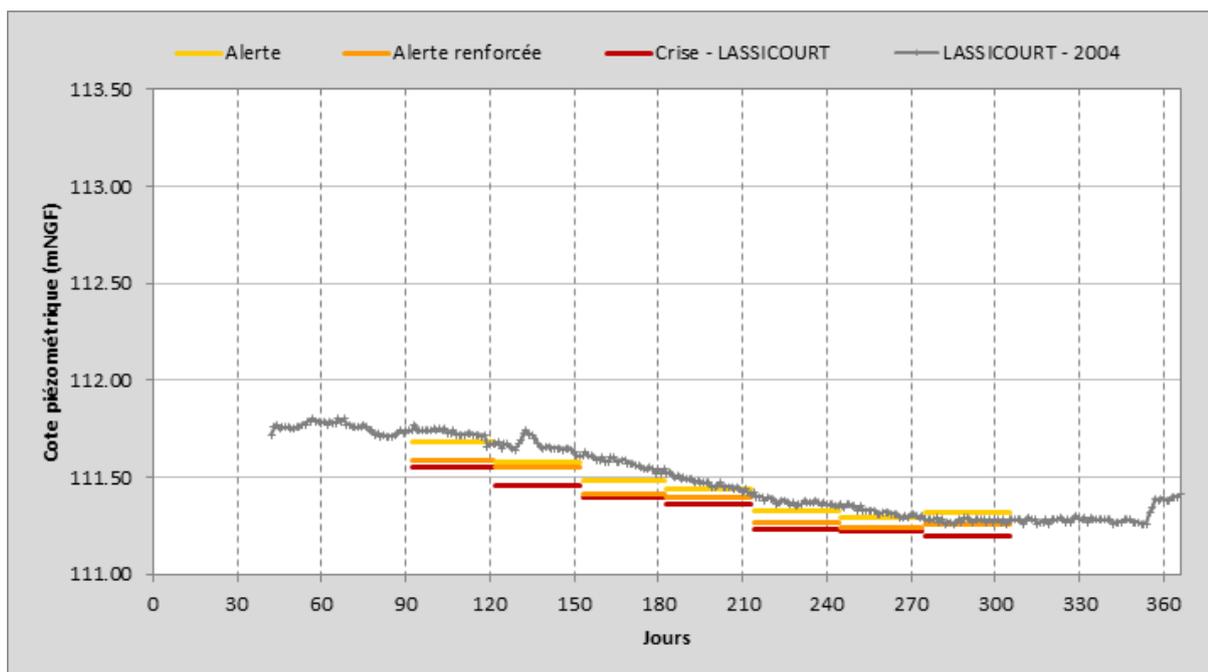


Illustration 50 - Chronique piézométrique de Lassicourt en 2004

L'illustration 51 présente la chronique piézométrique dans son intégralité ; elle est caractérisée par une cyclicité annuelle et pluriannuelle.

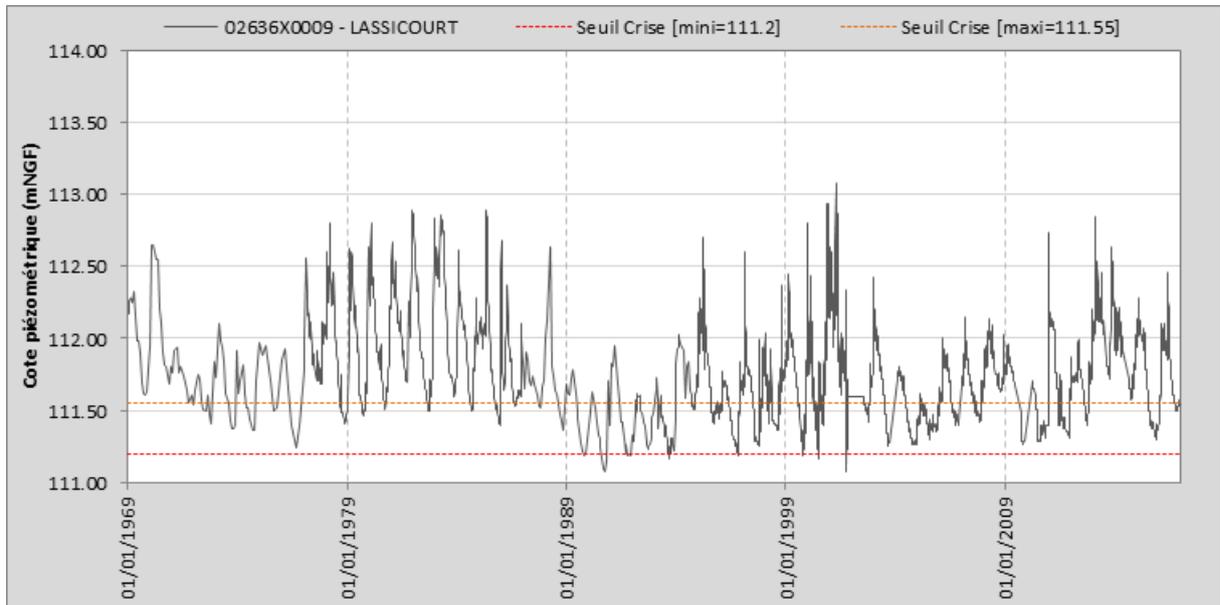


Illustration 51 - Chronique piézométrique de Lassicourt

◆ Synthèse

L'analyse du franchissement de seuils *a posteriori* corrobore les observations mises en exergue concernant l'examen des seuils piézométriques.

Certaines chroniques (Mécringes par exemple) à la cyclicité pluriannuelle se prêtent mal à l'établissement de seuils notamment en phase de cycles « bas ».

Sur certains ouvrages, il n'a pas été possible de calculer de manière fiable les franchissements de seuils en raison de l'absence de données (Semide).

Pour d'autres ouvrages, certains seuils ne sont jamais franchis (exemple de Linthelles), posant la question du mode d'établissement des seuils piézométriques.

L'analyse statistique des chroniques piézométriques (chapitre 2.3.1) permet d'évaluer les piézomètres sujets à des analyses probabilistes ainsi que l'application de seuils de références annuels.

Le Tableau 11 synthétise les occurrences de franchissements des seuils des piézomètres de suivi en région Champagne-Ardenne.

Les graphiques représentant le nombre de dépassement de seuils et les chroniques piézométriques associés sont disponibles en Annexe 2.

Indice BSS	Piézomètre / Commune	Pas de données	Normal	Alerte	Alerte renforcée	Crise	Total
01868X0030	MECRINGES	3	69	9	5	32	118
01871X0031	JANVILLIERS	1	59	10	2	46	118
00853X0018	HANNOGNE-SAINT-REMY	25	69	9	7	8	118
00853X0030	HANNOGNE-SAINT-REMY	98	20	0	0	0	118
01086X0011	FRESNE-LES-REIMS	3	96	10	3	6	118
01097X0014	SEMIDE	51	61	4	2	0	118
01584X0023	GRANDES-LOGES(LES)	0	99	10	4	5	118
01894X0002	VANAULT-LE-CHATEL	2	116	0	0	0	118
02982X0028	VAILLY	1	95	13	2	7	118
02255X0003	SOMPUIS	0	96	10	4	8	118
02233X0015	LINTHELLES	7	110	1	0	0	118
02617X0009	ORVILLIERS-SAINT-JULIEN	3	86	18	10	1	118
02974X0004	VILLELOUP	1	95	11	5	6	118
02615X0020	SAINT-HILAIRE-SOUS-ROMILLY	0	85	17	9	7	118
02603X1064	SAULSOTTE(LA)	0	95	19	1	3	118
00868X0016	BOUVELLEMONT	4	66	26	12	10	118
03693X0017	PRASLIN	0	79	15	13	11	118
03712X0012	SILVAROUVRES	17	66	19	9	7	118
02636X0009	LASSICOURT	9	95	5	4	5	118
	Total :	225	1557	206	92	162	

Tableau 11 - Synthèse des franchissements de seuils entre 2000 et 2016

2.2. RECHERCHE DES CAUSES AYANT MENÉ A DES INADÉQUATIONS DES MESURES DE RESTRICTION

Cette partie, qui s'appuie sur les résultats de l'état des lieux 2016 pour la DCE, a pour objectif d'identifier les éventuelles inadéquations entre les mesures de restriction, les problèmes d'usage identifiés et l'état des ressources en eau.

Pour cela, les chroniques piézométriques des ouvrages faisant l'objet d'arrêtés et mesures de restriction ont été analysés afin d'évaluer si les mesures prises ont eu un effet sur l'état de la ressource. Cette analyse a porté sur les arrêtés disponibles, soit les années 2014 et 2015.

2.2.1. Analyse des effets des mesures de restriction

Il s'agit d'évaluer, lorsqu'un arrêté est pris, l'impact des restrictions d'usage mise en œuvre sur l'évolution des eaux souterraines (chroniques piézométriques) et le retour à une situation normale des niveaux. La liste, non exhaustive, des arrêtés examinés correspond aux années 2014 et 2015.

◆ Situation en 2014

En Haute-Marne (52), l'arrêté n°1687 du 01/07/2014 au 13/08/2014, met les 7 bassins suivants en alerte : Blaise, Marne amont, Saulx-Ornain, Meuse amont, Saône amont, Seine amont, Aube amont.

Dans la Marne (51), l'arrêté n°28-2014-LE-SEC du 15/07/2014 au 31/10/2014, considère que la nappe de la Craie de Champagne Nord et le bassin Blaise doit être en alerte.

Le suivi de la Craie de Champagne Nord est assuré par plusieurs piézomètres : Hannogne-Saint-rémy, Fresnes-les-Reims, Bussy-le-Château et Semide d'après la NORS. A cette période le réseau de surveillance est enrichi du piézomètre de Saint-Etienne-sur-Suipe (les seuils ne sont pas référencés dans la NORS). Toutefois, le piézomètre de Saint-Etienne-sur-Suipe a été retiré momentanément du réseau de piézomètres de la nappe de la Craie de Champagne Nord en raison d'un problème de fiabilité des données, d'après le BRS en date du 24 juin 2014.

Le premier BRS en date du 9 mai 2014, pour la période du 15 au 30 avril, indique que l'état d'alerte est déjà en vigueur pour la Craie de Champagne Nord : « sur plusieurs aquifères, essentiellement non-crayeux, le manque de pluies constaté ces derniers mois a fait baisser plus fortement les niveaux ».

Les piézomètres de Hannogne-Saint-Rémy, Semide et Fresnes-les-Reims présentent des chroniques (Illustration 52, Illustration 53, Illustration 54) dont les niveaux baissent dès le mois de mars, jusqu'en octobre. Dès le mois de juin, les niveaux d'eau enregistrés sont proches des premiers seuils établis pour ces 3 piézomètres.

Postérieurement à la prise de l'arrêté, effective à mi-juillet, les niveaux du mois d'août pour ces 3 piézomètres présentent une pente plus faible, de 24 % pour Hannogne-Saint-Rémy et Semide, 29 % pour Fresnes-les-Reims.

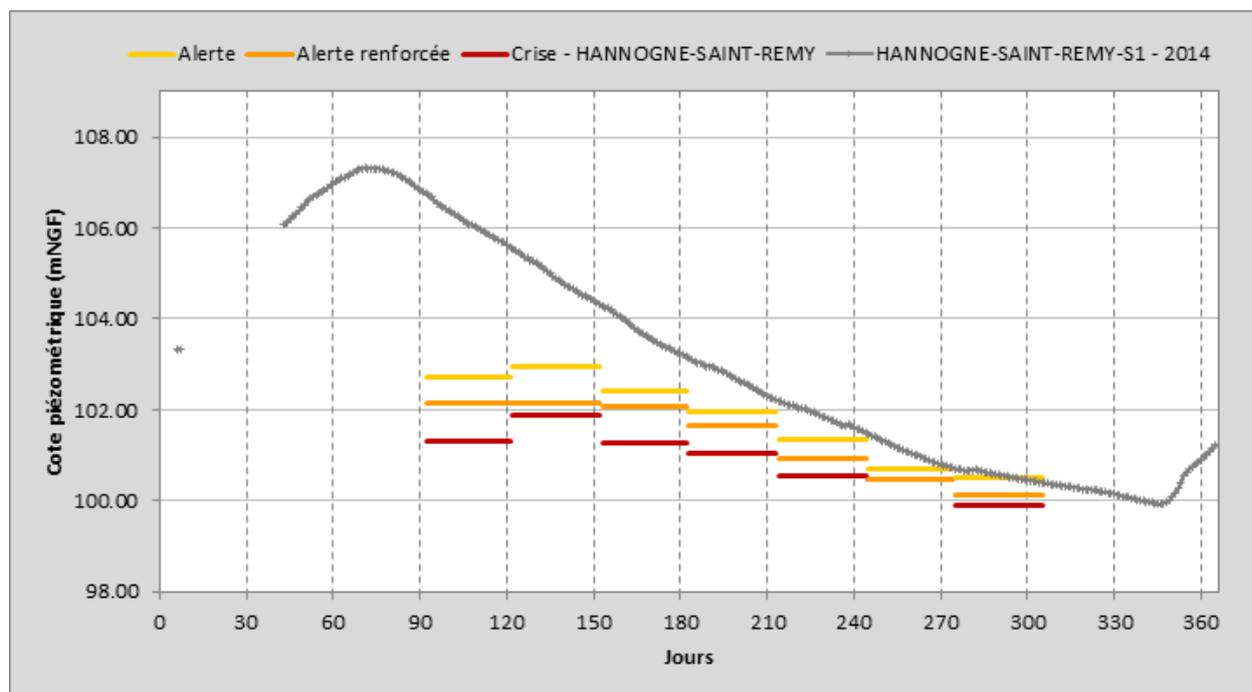


Illustration 52 - Chronique piézométrique de Hannogne-Saint-Remy (2014) et seuils associés

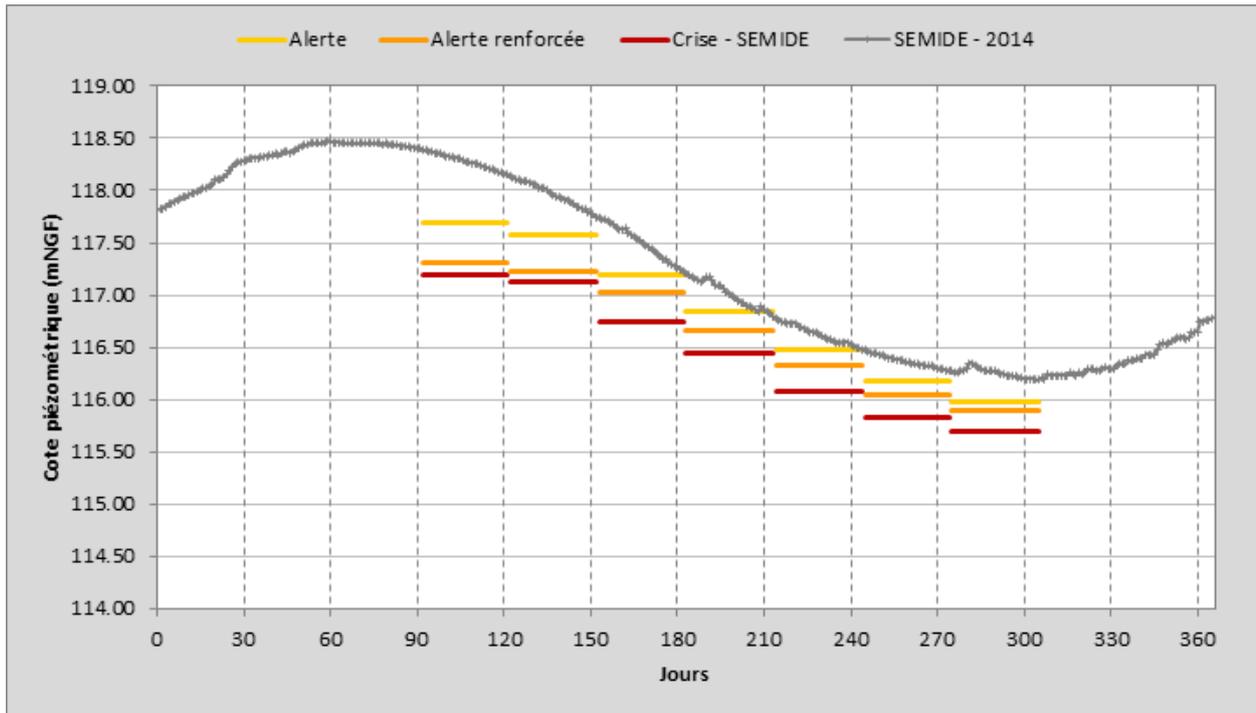


Illustration 53 - Chronique piézométrique de Semide (2014) et seuils associés

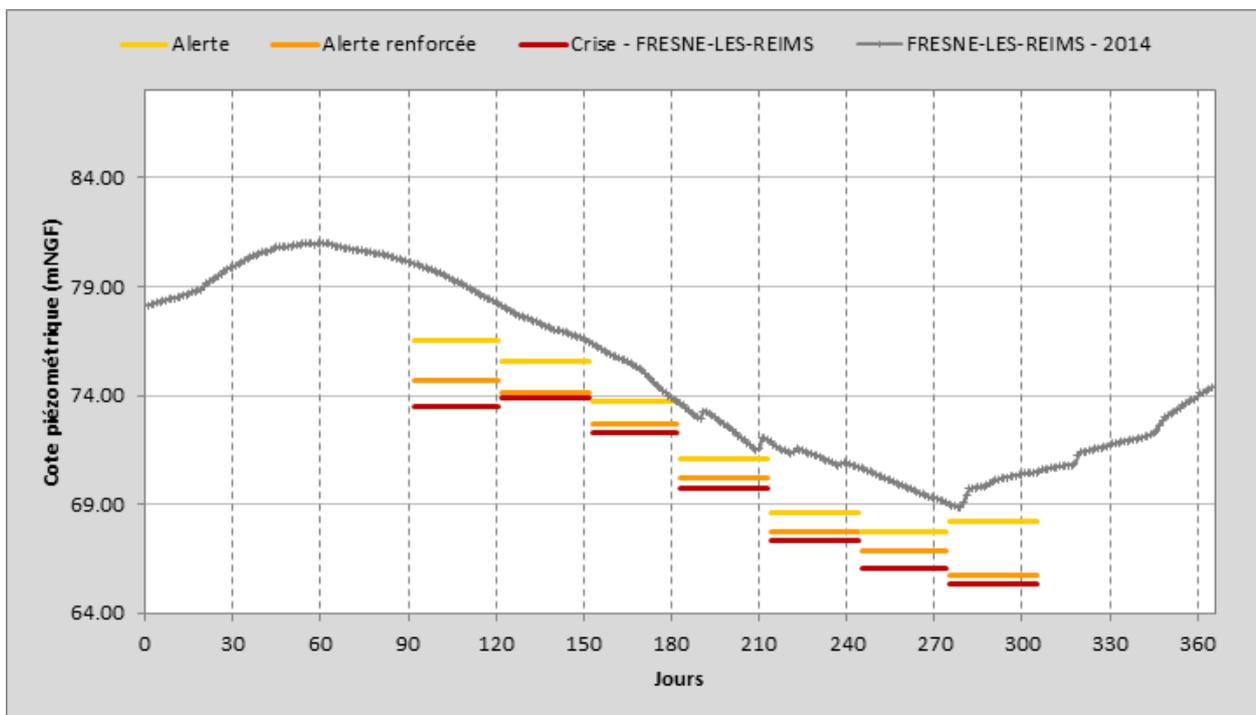


Illustration 54 - Chronique piézométrique de Fresne-les-Reims (2014) et seuils associés

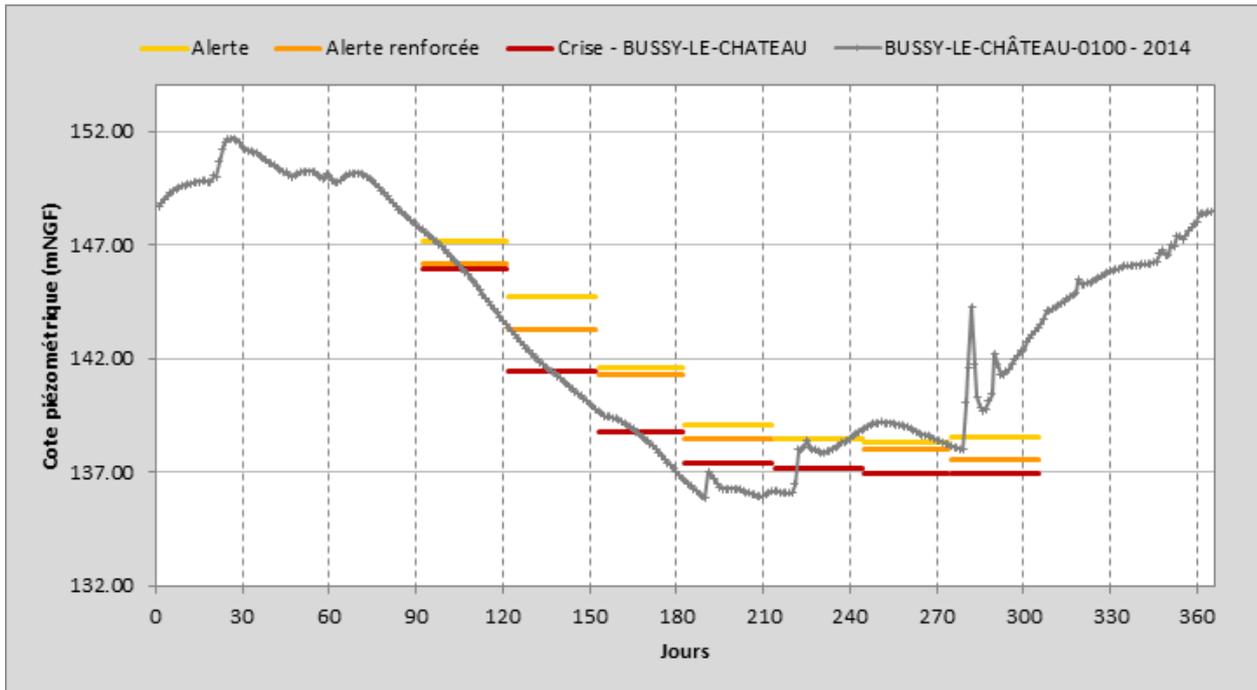


Illustration 55 - Chronique piézométrique de Bussy-le-Château (2014) et seuils associés

Pour le piézomètre de Bussy-le-Château (Illustration 55), les niveaux sont en deçà des seuils établis (seuil de crise notamment) dès le mois d'avril, se traduisant par une forte baisse des niveaux piézométriques. On observe une rupture de pente singulière en août, suivie d'une remontée des niveaux.

Les précipitations induisant des épisodes de recharge sont concomitantes entre ouvrages et plus marquées au droit du piézomètre de Bussy-le-Château.

Si la situation en termes de niveaux piézométriques présente une atténuation de la pente des niveaux piézométriques (voire une rupture au droit de Bussy-le-Château), la relation avec la prise d'arrêt et les restrictions d'usages est possible mais difficile à attester.

Le BRS paru au 21 octobre 2015 dresse le bilan de cette année au droit des eaux souterraines (Illustration 56 ci-après).

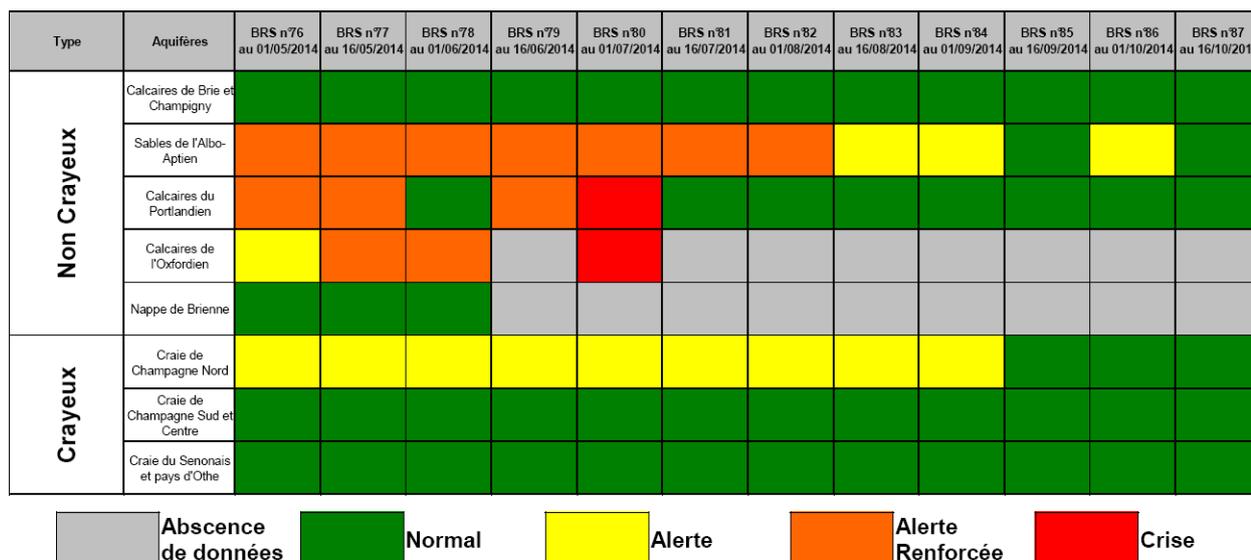


Illustration 56 - Bilan de la situation des eaux souterraines en 2014 (Source : BRS n°87)

Il est à noter que la Craie Champagne Nord demeure en état d'alerte tandis que les sables de l'Albo-Aptien, Calcaires du Portlandien et Calcaires de l'Oxfordien sont sujets à des états d'alerte renforcée et de crise, sans que toutefois des arrêtés de restriction sur les eaux souterraines aient été mise en œuvre. À ce titre, les éléments disponibles pour juger de la nécessité ou non de prendre des arrêtés pour améliorer un retour à la normal au droit de certaines masses d'eau est d'autant plus difficile que ces décisions s'appuient sur des éléments multifactoriels. La situation se résorbe début septembre suite aux précipitations de juillet et août.

◆ Situation en 2015

Dans les Ardennes (08), l'arrêté n°2015-423 du 25/07/2015 au 31/10/2015 considère que la nappe des calcaires de l'Oxfordien des Ardennes est en état d'alerte. Toutes les autres nappes conservent un état réglementaire normal.

D'après le BRS du 22 juillet 2015, un important déficit de pluie est observé depuis le début du mois de mai et les niveaux de tous les piézomètres sont en baisse. Les calcaires de l'Oxfordien sont suivis par le piézomètre de Bouvellemont (Illustration 57). La chronique montre que la situation continue de se dégrader en juillet et en août.

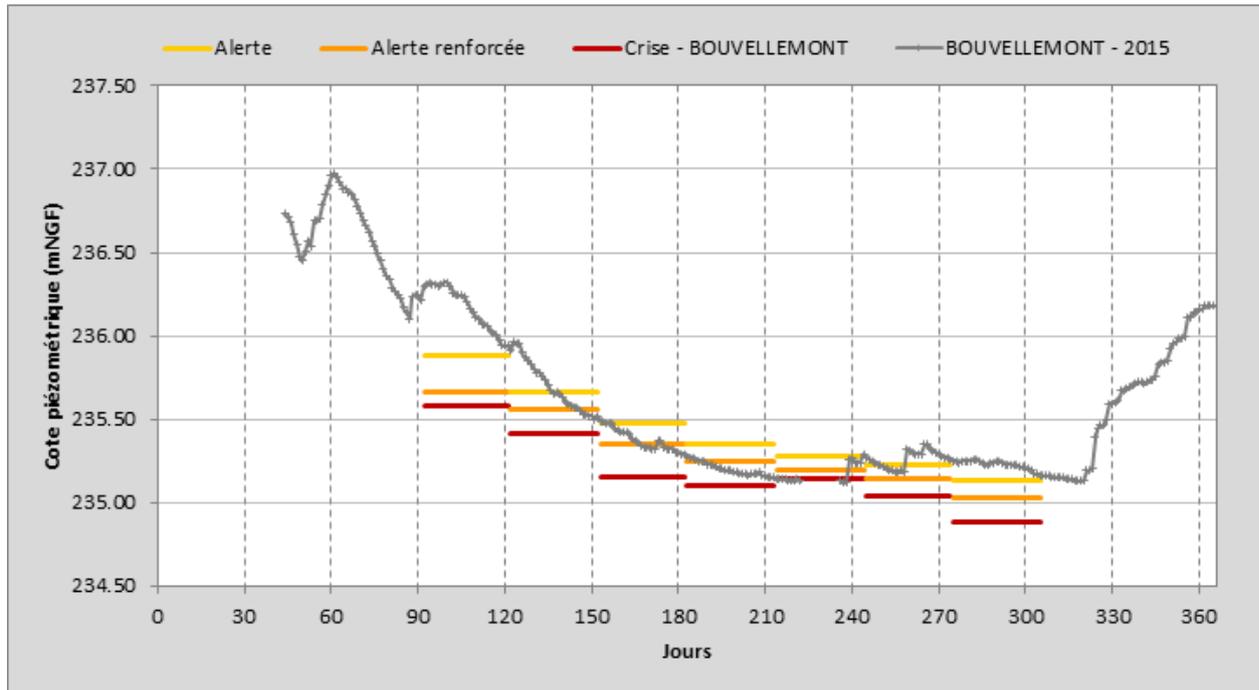


Illustration 57 - Chronique piézométrique de Bouvellemont (2015) et seuils associés

Une première remontée du niveau est notable à partir de fin août (+0,14 m), puis début septembre (+0,14 m). Toutefois les niveaux restent proches des seuils établis jusqu'en septembre. D'après le BRS du 24 septembre, les précipitations fréquentes, tombées depuis le début du mois d'août, ont enfin un effet favorable sur les masses d'eau souterraine. La situation réglementaire des nappes s'améliore nettement, le niveau d'eau remonte significativement à partir de mi-novembre 2015.

Avec les données disponibles, il est difficile d'identifier l'impact des mesures de restriction mises en œuvre dans la limitation de l'évolution du niveau piézométrique - il faudrait connaître l'impact des changements de pratiques réelles sur les prélèvements existants - toutefois on peut constater que la baisse du niveau est atténuée.

Par ailleurs, dans l'Aube (10), l'arrêté n°2015211-001 du 29/07/2015 au 31/10/2015 considère 3 bassins versants (Aube en amont de la restitution du réservoir Aube, Affluents crayeux Aube et Seine, Seine en amont de la restitution du réservoir Seine) en état d'alerte.

Dans la Marne (51), l'arrêté n°37-2015-LE du 07/08/2015 au 31/10/2015 considère la nappe de la Craie de Champagne Nord en état d'alerte. Les bassins hydrographiques "Affluents crayeux Aube et Seine", "Aisne Amont", "Aube Amont", "Blaise" et "Saulx Ornain" passent également de l'état normal à l'état d'alerte.

La Craie de Champagne Nord est suivie par 4 ouvrages : Hannogne-Saint-Rémy, Fresnes-les-Reims et Bussy-le-Château et Semide. Leurs chroniques piézométriques sont présentées respectivement ci-dessous.

L'illustration 58 présente l'évolution du niveau piézométrique de Hannogne-Saint-Rémy en 2015, en revanche la chronique est interrompue à partir de mi-avril. En l'absence de données cet ouvrage n'est pas sujet à analyse.

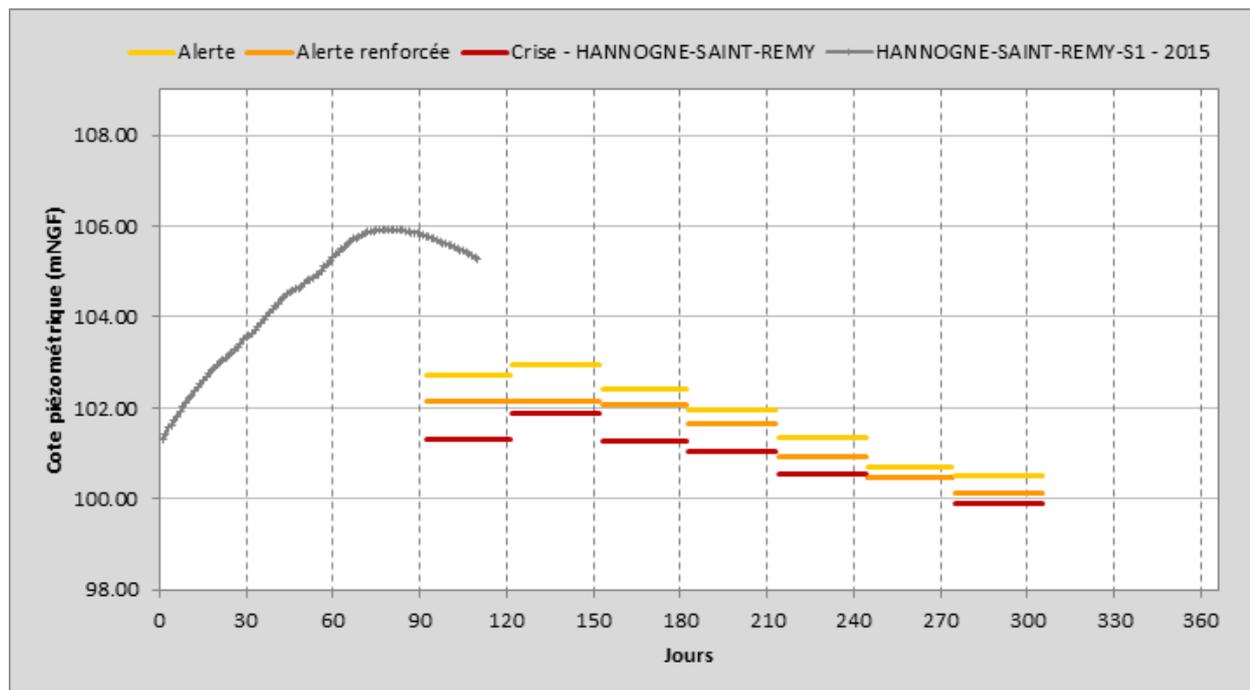
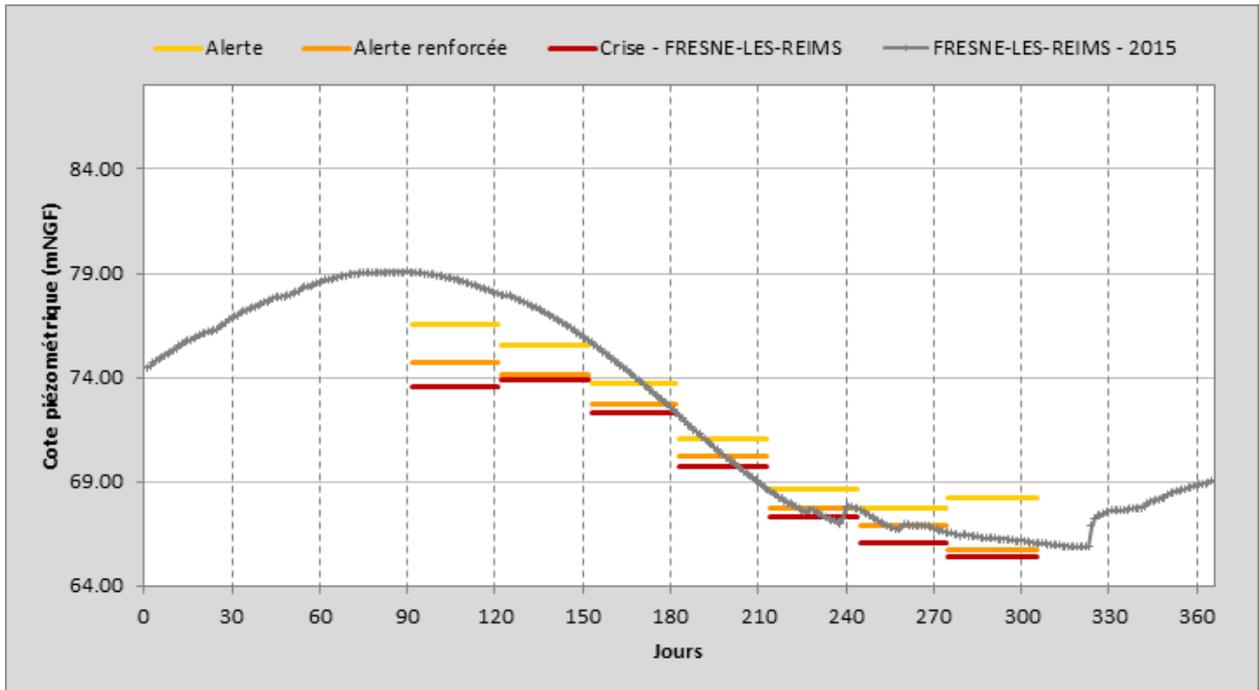


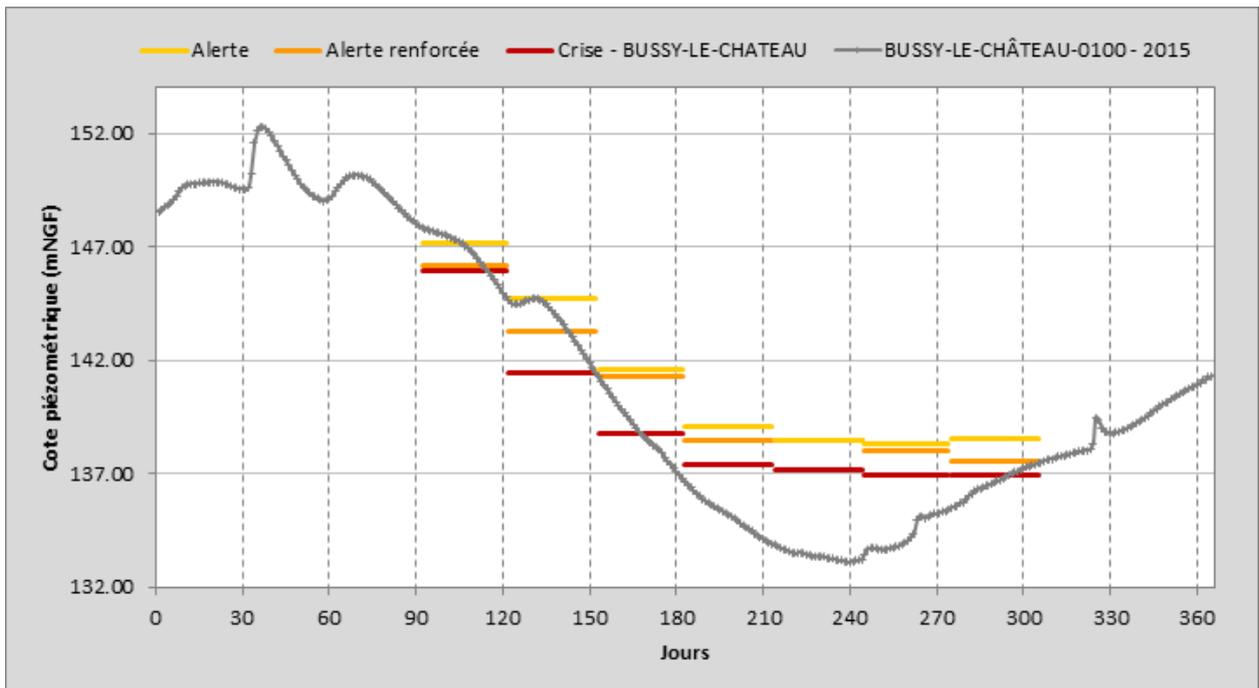
Illustration 58 - Chronique piézométrique de Hannogne-Saint-Rémy (2015) et seuils associés

L'illustration 59 montre l'évolution du niveau piézométrique de Fresnes-les-Reims. Il est à noter l'évolution à la baisse des niveaux à partir d'avril, niveaux inférieurs aux seuils définis. En août les niveaux présentent deux légères remontées (+0,76 m) suite aux précipitations de mi-août. La décroissance des niveaux semble atténuée en septembre et jusqu'en novembre, où la remontée des niveaux est observée lors des précipitations de fin d'année. Pendant la période estivale les niveaux demeurent tangents aux seuils établis.

L'évolution au droit du piézomètre de Semide est semblable (non présentée ici).



L'illustration 60 montre l'évolution du niveau piézométrique de Bussy-le-Château. L'évolution du niveau piézométrique est à la baisse à partir du mois d'avril et franchit rapidement les seuils établis jusqu'à 4 m en dessous du seuil de crise (août). La baisse des niveaux semble atténuée en août et des remontées du niveau (+0,44 m et +0,78 m) sont observées ainsi qu'une inversion de pente (à la hausse).



Pour le piézomètre de Bussy-le-Château (Illustration 55), les niveaux sont en deçà des seuils établis (seuil de crise notamment) dès le mois d'avril, se traduisant par une forte baisse des niveaux piézométriques. On observe une rupture de pente singulière en août, suivie d'une remontée des niveaux.

En Haute-Marne (52), l'arrêté n°2023 du 09/07/2015 au 11/08/2015 établis l'ensemble du département au niveau d'alerte, d'après les conclusions de la réunion de l'observatoire départemental de la ressource en eau en date du 9 juillet 2015. Le premier BRS de l'année, paru le 7 juillet 2015 portant sur les données sur 16 au 30 juin 2015, montre que les bassins en Haute-Marne sont dans un statut « normal » et que le piézomètre de suivi des Calcaires de l'Oxfordien de Haute Marne (Silvarouvres) indique une absence de données.

Par la suite, l'arrêté n°2211 du 12/08/2015 au 24/10/2015, considère l'ensemble du département en alerte renforcée, d'après les conclusions de la réunion de l'observatoire départemental de la ressource en eau en date du 12 août 2015. A ce stade, le BRS du 16 au 31 juillet, paru le 5 août 2015, indique que les bassins réglementaires Marne Amont, Aube Amont, Blaise et Bassin Rhône Méditerranée sont en état d'alerte. Le piézomètre de Silvarouvres indique à nouveau une absence de données.

L'illustration 61 présente le bilan de l'évolution réglementaire pour les eaux souterraines. Les arrêtés de restriction pris permettent d'amoindrir les prélèvements au droit des eaux souterraines, ceci dit son impact n'est pas qualifiable vis-à-vis du retour à la normale. Le dernier BRS du 25 novembre indique qu'une majorité des bassins et des nappes ont retrouvé un statut normal, notamment grâce aux pluies de fin novembre.

Type	Aquifères	BRS n°88 au 01/07/2015	BRS n°89 au 16/07/2015	BRS n°90 au 01/08/2015	BRS n°91 au 16/08/2015	BRS n°92 au 01/09/2015	BRS n°93 au 16/09/2015	BRS n°94 au 01/10/2015	BRS n°95 au 16/10/2015	BRS n°96 au 01/11/2015	BRS n°97 au 16/11/2015
Non Crayeux	Calcaires de Brie et Champigny	Normal									
	Calcaires de l'Oxfordien des Ardennes	Alerte	Alerte	Alerte	Alerte Renforcée	Alerte Renforcée	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal
	Calcaires du Portlandien	Alerte Renforcée	Alerte Renforcée	Alerte Renforcée	Crise	Crise	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal
	Calcaires de l'Oxfordien de Haute Marne	Absence									
	Nappe de Brienne	Normal									
Crayeux	Craie de Champagne Nord	Normal	Normal	Alerte	Alerte	Alerte Renforcée	Alerte	Alerte	Alerte	Alerte Renforcée	Alerte Renforcée
	Craie de Champagne Sud et Centre	Normal									
	Craie du Senonais et pays d'Othe	Normal	Normal	Normal	Normal	Alerte	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal

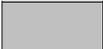
	Absence		Normal		Alerte		Alerte Renforcée		Crise
-------------------------------------------------------------------------------------	----------------	-------------------------------------------------------------------------------------	---------------	-------------------------------------------------------------------------------------	---------------	--------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------	--------------

Illustration 61 - Bilan de la situation des eaux souterraines en 2015 (Source : BRS n°97)

2.2.2. Synthèse

Si les arrêtés sécheresses ont pour but de limiter les prélèvements en eaux souterraines au droit des unités hydrogéologiques concernées, l'impact des mesures de restriction sur les niveaux est difficilement quantifiable (lien de causalité non évident). Toutefois il est à noter en 2014 et en 2015 que ces restrictions sont suivies d'une évolution plus faible (pente) des niveaux d'eau les mois suivants. Le franchissement d'un seuil n'induit pas nécessairement l'application d'une restriction correspondant à ce seuil, la décision de prise d'un arrêté étant multifactorielle (précipitation, climatologie, humidité des sols, prévisions, hydrologie). Certaines unités hydrogéologiques telles que les sables de l'Albo-Aptien ou les Calcaires du Portlandien en alerte en 2014 et 2015 ne sont pas concernées par un arrêté relatif aux eaux souterraines, sans toutefois compromettre un retour à la normale.

Aussi, les dispositifs prévus en terme de restriction sont variables en fonction de départements et de leurs spécificités, à titre d'exemple concernant l'usage irrigation, en état d'alerte, les diverses mesures suivantes s'appliquent :

- dans les Ardennes : pas de restriction des usages non agricoles ;
- en Haute-Marne : l'irrigation des cultures est interdite de 11 h à 18 h ;
- dans l'Aube : les reliquats de quota de chaque irrigant sont réduits pour les volumes restants à prélever de 5 % pour certains bassins hydrogéologiques et 30 % pour certains bassins hydrologiques ;
- dans la Marne : les reliquats de quota de chaque irrigant sont réduits pour les volumes restants à prélever en fonction de la zone agricole d'appartenance de chaque forage (5 %, 10 % ou 30 %).

2.3. SEUILS PIÉZOMETRIQUES : INSUFFISANCES MÉTHODOLOGIQUES

Dans ce chapitre, on examine la pertinence des méthodes de détermination des seuils piézométriques en analysant les chroniques de données. Pour chaque mois, ces seuils sont actuellement fixés en termes de périodes de retour (pour rappel) :

- le seuil d'alerte correspond à une période de retour de 5 ans sec des niveaux moyens du mois ;
- le seuil d'alerte renforcée correspond à une période de retour de 10 ans sec des niveaux moyens du mois ;
- le seuil de crise correspond à une période de retour de 20 ans sec des niveaux moyens du mois.

Rappelons qu'une analyse fréquentielle (probabiliste) nécessite le respect des hypothèses d'homogénéité (pas de rupture dans la série), de stationnarité (pas de tendance à la baisse ou à la hausse) et d'indépendance des valeurs successives de la série (pas d'autocorrélation). Ces 3 conditions ne sont pas toujours respectées dans les séries piézométriques utilisées pour la détermination des seuils comme on le verra dans ce qui suit avec les niveaux moyens annuels et les niveaux moyens mensuels minimum année civile (notés HMNA, par analogie avec le QMNA).

Rappelons aussi les conclusions de l'expertise faite par le BRGM à la demande de la DREAL Champagne-Ardenne concernant quelques piézomètres du réseau de suivi sécheresse (rapport BRGM/RP-64515-FR, 2015) :

" Les fortes variations des seuils statistiques sous ADES consécutives à l'actualisation des chroniques d'une année à l'autre ne sont, dans la majorité des cas, imputables qu'à deux causes principales :

- un échantillon jugé représentatif mais non homogène ou réalisé à partir de séries incomplètes, comportant des lacunes ou constitué du mélange de 2 séries. C'est actuellement le cas des piézomètres de Bussy-le-Château, Vailly, voire Vanault-le-Châtel pour quelques périodes d'assecs

- un échantillon constitué de valeurs non indépendantes, c'est-à-dire autocorrélées, ce qui est le cas des piézomètres ayant un cycle à dominante pluriannuelle : Linthelles, Janvilliers, ...

Si pour les premiers, la solution consiste en une analyse avec correction et validation des données, pour les seconds il n'y a pas de solutions simples. L'utilisation de la notion de période de retour n'est pas adaptée aux piézomètres à forte inertie, d'autant plus que la terminologie utilisée ("sec", "humide") n'est pas, pour ces nappes à inertie, en phase avec le contexte climatique (où cette terminologie est justifiée) "

Une solution doit donc être trouvée en recherchant un mode de calcul qui puisse convenir, si possible, à tous les piézomètres.

Préalablement à l'exploration de quelques pistes, les chroniques de mesures faites sur les 19 piézomètres utilisés pour le "suivi sécheresse" ont été analysées statistiquement (§ 2.3.1). Dans un second temps, toujours dans cette partie analytique, des piézomètres (appelés par la suite piézomètres complémentaires) ont été recherchés et leurs niveaux analysés afin de repérer ceux qui pourraient être éventuellement utilisés comme piézomètres de remplacement ou de secours (§ 2.3.2).

2.3.1. Analyse des chroniques de niveaux des piézomètres actuellement suivis

Les piézomètres étudiés sont les piézomètres appartenant au réseau de surveillance sécheresse. L'analyse a d'abord porté sur les niveaux moyens annuels. Toutes les chroniques traitées et les graphiques réalisés sont consultables dans le *dossier Champagne* du CD joint au rapport (annexe 1, fichier *Graphiques_Hac_piézos_suivis.pdf*).

Le Tableau 12 présente les caractéristiques globales des chroniques de niveaux mesurés sur les 19 piézomètres utilisés pour la définition des seuils d'alerte et de crise. Si, pour ces piézomètres, le nombre d'années avec des mesures est supérieur à 29 (de 30 à 49 années), le nombre de mesures effectuées sur les années antérieures à 1990 est par contre le plus souvent très faible. Le taux de mesures (nombre de mesures journalières sur le nombre total de jours dans la période considérée) est inférieur à 30 % pour 6 piézomètres (en caractères gras dans le tableau).

Piézomètre	Début	Fin	Années avec mesures	Taux (%)	Moyenne (m)	Maxi. (m)	Mini. (m)	Amplitude (m)
Mecringes	13/01/1969	31/12/2016	45	44,9	185,35	188,55	183,83	4,72
Janvilliers	13/01/1969	31/12/2016	48	50,5	208,84	213,9	205,93	7,97
Saulsotte	13/01/1969	31/12/2016	48	53,5	67,47	74,67	63,06	11,61
St-Hilaire	13/01/1969	31/12/2016	46	24,7	128,12	136,05	119,05	17
Orvilliers	13/01/1969	31/12/2016	48	49,5	90,89	99,86	83,16	16,7
Villeloup	13/01/1969	31/12/2016	48	27,7	144,2	163,3	135,87	27,43
Grandes Loges	01/01/1969	31/12/2016	48	93,4	89,83	99,8	78,27	21,53
Vanault	15/01/1969	31/12/2016	48	38	142,33	154,96	136,43	18,53
Linthelles	20/05/1976	28/11/2016	30	21,7	98,5	100,7	94,7	6
Sompuis	14/01/1969	31/12/2016	48	49,5	140,51	147,74	133,74	14
Vailly	14/01/1969	31/12/2016	45	45,5	120,28	134,75	109,75	25
Hannogne	06/02/1969	12/06/2017	49	47,1	105,48	111,85	99,10	12,75
Fresne	18/01/1968	31/12/2016	49	91,7	73,66	87,03	61,81	25,22
Semide	17/01/1969	31/12/2016	40	26,1	117,29	118,96	114,8	4,16
Bussy	01/01/1969	12/06/2017	47	48,1	142,99	154,88	132,85	22,03
Bouvellemont	15/01/1969	31/12/2016	47	19,4	235,93	242,6	233,6	9
Silvarouvres	11/05/1976	24/06/2014	39	13,1	211,2	214,81	209,3	5,51
Praslin	03/09/1976	31/12/2016	41	54,1	188,07	198,35	184,94	13,41
Lassicourt	14/01/1969	31/12/2016	48	44,6	111,72	113,08	111,07	2,01

Tableau 12 - Caractérisation des séries piézométriques enregistrées sur 19 piézomètres de suivi de l'état des nappes en Champagne-Ardenne

Les graphiques montrant l'évolution des niveaux sont consultables dans le *dossier Champagne* du CD (Annexe_1, fichier *Graphiques_Hac_piézos_suivis.pdf*). Dans ce dossier on trouvera aussi :

- les graphiques d'évolution des moyennes mensuelles des niveaux ;
- les graphiques d'évolution des moyennes annuelles, des minima et des maxima de chaque année ;
- les histogrammes montrant la répartition des mois où les minima et maxima sont atteints ;
- des graphiques statistiques : boîtes à moustaches, corrélogrammes, distributions cumulées de fréquences, histogrammes ;
- les résultats des tests statistiques utilisés pour la détection de tendances et de ruptures dans les séries des niveaux moyens annuels et des écarts-types annuels.

Remarque sur le piézomètre de Bussy (extrait du rapport BRGM/RP-64515-FR, 2015)

"Le piézomètre de Bussy-le-Château (ancien), d'indice national était 01593X0014 (Bussy 1), a été mis en service en janvier 1969. Il a permis l'acquisition de données, à des pas de temps variables, jusqu'au 24/01/2012. Présentant de nombreux assecs, son remplacement par un nouveau piézomètre 01593X0100 (Bussy 2), a été effectif en date du 12 avril 2011. Le nouveau piézomètre a été implanté à quelques mètres de l'ancien, dans un contexte hydrogéologique crayeux similaire mais plus profondément (31 m au lieu de 26 m).

L'examen des tracés des variations piézométriques réduites observées au droit des différents piézomètres de la masse d'eau crayeuse montre qu'ils ont tous un comportement similaire synchrone même si l'on note des différences sur leurs cycles. Les piézomètres de Bussy-Le-Château et Vanault-le-Châtel (01894X0002/S1) ont un cycle quasi annuel contrairement à Linthelles (02233X0015) et à Fresnes-les-Reims (01086X0011 - à un degré moindre), qui possèdent un cycle pluriannuel marqué.

Les fluctuations significatives des évaluations statistiques du piézomètre de Bussy-le-Château sont principalement dues à :

- la difficulté de reconstituer une série piézométrique à partir de la série d'un autre piézomètre même très proche, et ce notamment si la période commune de mesure est relativement courte ;

- la qualité de cette série temporelle car :

- même si elle couvre une grande période de suivi, elle est constituée à partir de pas de temps d'acquisition pas assez fins sur une grande partie de la période ;*
- elle comporte de nombreuses lacunes (assecs) qui perturbent totalement la constitution de la série nécessaire à l'analyse statistique, et ce d'autant plus que depuis 2012 et la mise en service du nouveau piézomètre, les périodes d'observations à sec sur l'ancien piézomètre disposent de mesures sur le nouveau piézomètre à des niveaux très bas jamais atteints historiquement.*

Pour limiter les effets des incohérences mises en évidence sur la chronique de Bussy-le-Château, le BRGM a réalisé une nouvelle reconstitution de la chronique sur la période antérieure à la mise en place du nouveau piézomètre (1 janvier 1969 au 11 avril 2011). Les données, reconstituées à partir des piézomètres de Bussy-le-Château (ancien) et Vanault-le-Châtel notamment sur les périodes d'assecs, ont été chargées sur BSS-EAU puis ADES pour remplacer et compléter la chronique actuelle du piézomètre de Bussy-le-Château. Les nouvelles valeurs statistiques fournies par ADES, même si elles intègrent encore des lacunes d'observations d'assecs, sont inférieures aux valeurs précédemment obtenues, ce qui devrait permettre d'obtenir des variations et évaluations fréquentielles plus cohérentes avec celles des piézomètres voisins".

Le Tableau 13 présente quelques résultats obtenus en traitant les séries de niveaux moyens annuels (année civile). On retiendra comme premières conditions de possibilité d'un traitement statistique un nombre d'années avec mesures supérieur à 20 (et sans lacunes plusieurs années de suite au sein de la chronique) et, pour chaque année, au moins 36 mesures bien réparties dans l'année (ce qui est l'équivalent de 3 mesures par mois). Ce choix est peu sévère mais il permet d'obtenir des chroniques plus longues. Le Tableau 13 contient la moyenne des niveaux, l'amplitude de variation (maximum–minimum), l'autocorrélation d'ordre 1 (variable ρ_1) et le résultat du test de Mann-Kendall (exprimé par une p-value).

Les résultats de ces tests et les graphiques associés sont consultables dans le dossier Champagne du CD (Annexe_1, fichier *Graphiques_Hac_piézos_suivis.pdf*).

Piézomètre	Années	Années manquantes ou éliminées	Moyenne Interannuelle (m)	Amplitude (m)	ro1	Pente (cm/an)	p-value du test MK
Mecringes	48	12	185,53	2,75	0,612	-2,1	0,171
Janvilliers	48	9	208,77	4,2	0,563	-0,2	0,915
Saulotte	48	19	67,52	10,31	0,616	0	0,988
St-Hilaire	48	12	128,10	6,99	0,313	-3,5	0,239
Orvilliers	48	8	91,22	11,13	0,618	-6,5	0,031
Villeloup	48	8	144,19	9,52	0,485	-3,1	0,326
Grandes Loges	48	0	89,85	9,47	0,396	-2,1	0,501
Vanault	48	9	142,92	6,91	0,437	-5,6	0,027
Linthelles	41	30	98,32	3,24		Trop d'années manquantes	
Sompuis	48	8	140,69	8,85	0,416	-5,6	0,013
Vailly	48	11	120,51	15,66	0,454	-8,2	0,237
Hannogne	49	8	106,14	9,59	0,507	-8,8	0,0014
Fresne	49	0	73,75	13,81	0,494	+3	0,284
Semide	48	16	117,30	1,86	0,302	-1	0,035
Bussy	49	22	143,18	7,67		Trop d'années manquantes	
Bouvellemont	48	13	236,07	1,37	0,789	-2,1	0,0015
Silvarouvres	39	2	211,21	1,4	0,288	-0,9	0,0046
Praslin	41	1	188,13	4,02	0,272	-1,5	0,077
Lassicourt	48	15	111,78	0,75	0,551	-0,8	0,165

Tableau 13 - Statistiques et tests sur les moyennes annuelles des niveaux calculées sur 19 piézomètres

7 séries sont caractérisées par une pente considérée comme significative au seuil de risque de 5 % (en rouge dans le tableau) et 15 par un coefficient d'autocorrélation à l'ordre 1 (c'est-à-dire au bout d'une année) supérieur à 0,3 (en bleu dans le tableau, valeur seuil relativement arbitraire).

Remarques

Pour les piézomètres de Linthelles et de Bussy, il y a trop d'années manquantes au sein de la série des niveaux moyens annuels. Pour les autres piézomètres, le nombre d'années manquantes se situe au début des chroniques (conséquence de la contrainte d'un minimum de 36 valeurs/an), ce qui rend possible les traitements statistiques.

La valeur de 0,3 choisie comme seuil pour le coefficient d'autocorrélation, est arbitraire, mais on peut considérer qu'en deçà, l'autocorrélation est peu significative. Choisir un seuil plus bas reviendrait à s'interdire toute analyse fréquentielle. Pour ne pas être trop pénalisant, on pourrait fixer un seuil à 0,6 (mais cela serait moins rigoureux).

Avec les contraintes de nombre d'années suffisant, de stationnarité, d'homogénéité et d'indépendance, une analyse fréquentielle envisagée sur les niveaux moyens annuels conduirait à écarter 18 séries piézométriques, il ne resterait que le piézomètre de Praslin pour lequel une analyse fréquentielle serait possible. Avec un seuil d'autocorrélation porté à 0,6, il resterait 8 séries pour lesquelles une analyse fréquentielle serait possible. Ces critères ne garantissent pas néanmoins l'obtention d'un bon ajustement sur une loi de probabilité (en particulier la loi normale).

Les mêmes difficultés d'application se rencontreraient si l'on faisait une analyse fréquentielle par mois : séries trop lacunaires, autocorrélations trop fortes, tendances ou ruptures significatives, forme des histogrammes. Des exemples de mauvais ajustements d'une loi normale sont fournis par les illustrations ci-après pour la série des mois de mai de 3 piézomètres : Mécringes (autocorrélation 0,52 + forme de l'histogramme), Sompuis (forme de l'histogramme) et Silvarouvres (forme de l'histogramme). Le test d'ajustement noté SW sur les graphiques est le test de Shapiro-Wilk, bien adapté pour les ajustements sur une loi normale.

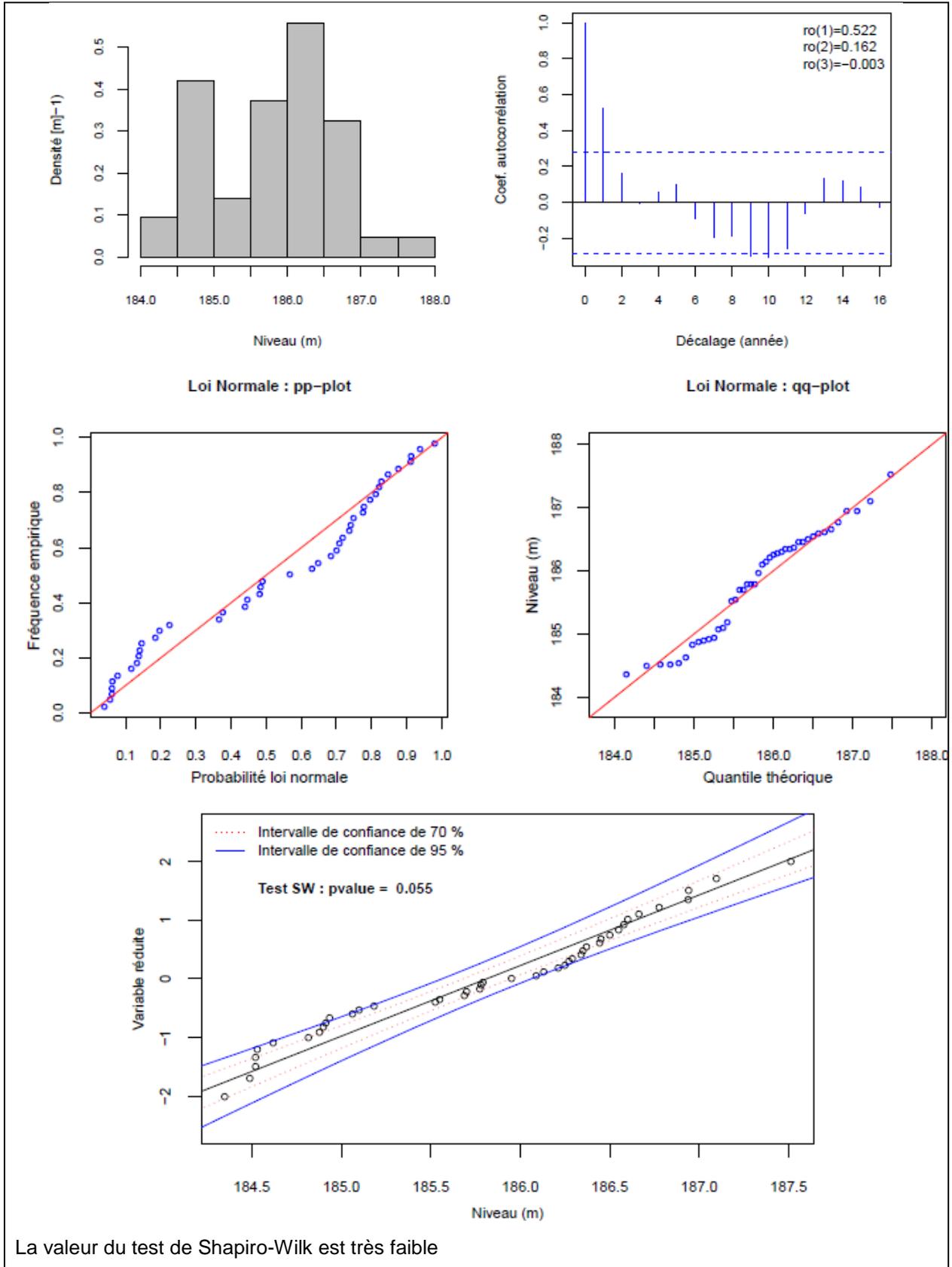


Illustration 62 – Piézomètre de Mécringes. Ajustement d'une loi normale impossible.

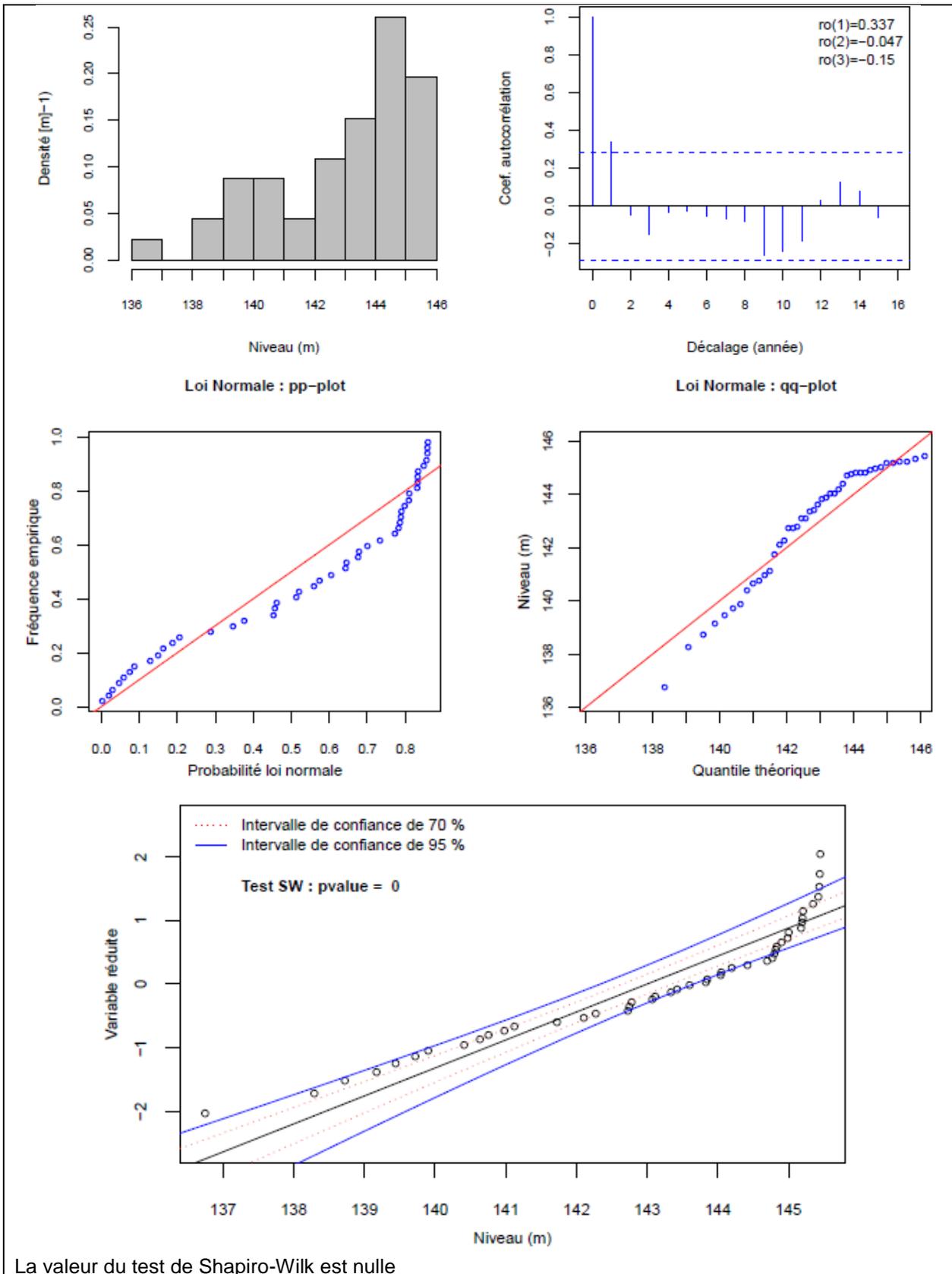


Illustration 63 - Piézomètre de Sompuis. Ajustement d'une loi normale impossible.

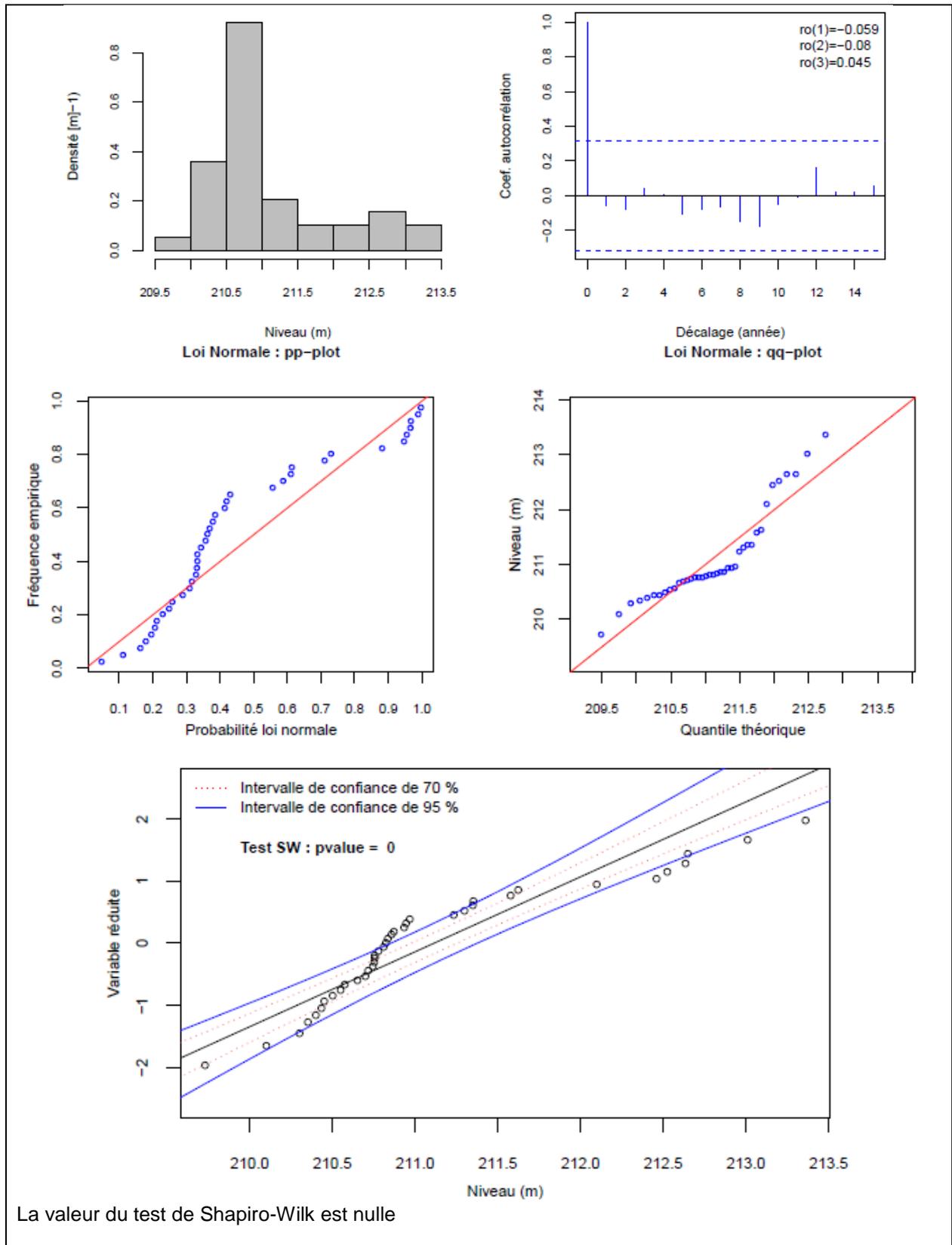


Illustration 64 - Piézomètre de Sompuis. Ajustement d'une loi normale impossible.

Remarque

Le test noté SW sur les graphiques ci-avant est le test de Shapiro-Wilk (Shapiro S. S., Wilk, M. B. - 1965. "*An analysis of variance test for normality (complete samples)*". *Biometrika* 52 (3-4), pp 591–611). Ce test est considéré comme un test de "normalité" très puissant pour les petits effectifs ($n < 50$). Il teste "l'hypothèse nulle" selon laquelle un échantillon de données x_1, \dots, x_n est issu d'une population distribuée suivant une loi normale. Si la valeur calculée de la "statistique" du test (notée W) est inférieure à la valeur $W_{1-\alpha, n}$ correspondant au niveau de signification α choisi (par exemple 95 %), alors l'hypothèse de normalité doit être rejetée..

Les valeurs du test étant ici très faibles, voire nulles (à la quatrième décimale près), l'hypothèse de normalité peut être rejetée sans ambiguïté.

2.3.2. Analyse des chroniques de niveaux des piézomètres complémentaires

L'analyse des chroniques piézométriques a aussi été faite sur des piézomètres n'appartenant pas au réseau de suivi : 21 piézomètres ont été extraits de la base ADES.

Le Tableau 14 présente les caractéristiques globales des chroniques de niveaux mesurés sur 21 piézomètres dont certains pourraient compléter le réseau d'alerte existant. Sur ces 21 piézomètres, 8 semblent ne plus être suivis. Pour les 13 autres (en caractères gras dans le tableau), le nombre d'années de mesures va de 9 à 47 et le taux de mesures (nombre de mesures journalières / nombre total de jours dans la période considérée) est compris entre 14 et 95 %. L'amplitude de variation des niveaux est le plus souvent faible et ne dépasse 5 m que sur 4 points parmi les 21 (dont 11,5 m au piézomètre 03328X0024).

Code BSS	Début	Fin	Années mesures	Taux (%)	Moyenne (m)	Maxi. (m)	Mini. (m)	Amplitude (m)
00853X0018	01/01/1998	20/04/2015	18	80,3	102,84	108,34	98,96	9,38
01322X0049	01/01/2002	16/02/2017	11	44,9	82,71	85,5	79	6,5
03328X0024	01/01/1997	26/02/2017	21	70,8	245,5	253,88	242,36	11,52
03717X0004	01/01/1998	12/08/2010	13	76	253,58	255,46	251,55	3,91
02648X0020	01/01/1997	27/02/2017	20	77,1	173,55	176,6	172,65	3,95
00862X0005	01/01/1971	17/01/2017	47	26,4	111,23	113,5	109,56	3,94
02994X0092	01/01/1997	23/06/2016	20	77,7	140,29	143,53	139,03	4,5
03336X0001	01/01/1997	27/02/2017	21	92,5	137,02	137,33	136,34	0,99
02606X1013	01/01/1998	19/06/2006	9	83,0	61,38	62,89	59,8	3,09
01891X0047	01/01/1997	27/02/2017	19	82	79,4	81,12	78,18	2,94
01082X0015	01/01/1997	19/07/2005	9	81,7	60,3	61,55	59,28	2,27
02621X0009	01/01/1996	04/05/2010	15	41,2	79,12	81,36	78,24	3,12
02621X0085	01/01/2009	27/02/2017	9	94,9	80,93	82,38	80,25	2,13
01907X0043	01/01/1997	08/04/2015	18	81,9	126,21	127,15	125,78	1,37
02267X0030	01/01/1998	27/02/2017	20	91	134,11	135,72	133,12	2,6
01885X0002	01/01/1997	27/02/2017	21	47,9	139,49	141,85	136,8	5,05
03745X0021	01/01/1997	27/02/2017	21	34,1	257,65	258,53	257,19	1,34
01347X0002	01/01/1997	27/02/2017	21	14,0	123,4	126,5	121,9	4,6
01102X0025	01/01/1971	27/02/2017	46	36,3	165,74	168,15	164,97	3,18
02645X0038	01/01/1997	23/06/2016	19	66,2	124,99	126	123,47	2,53
00692X0062	01/01/1983	27/02/2017	35	43,7	196,99	198,26	195,86	2,4

Tableau 14 - Caractérisation des séries piézométriques enregistrées sur 21 piézomètres complémentaires

Comme pour les piézomètres du réseau de suivi sécheresse, les résultats des traitements et les graphiques associés sont consultables dans le dossier Champagne du CD (Annexe_2 : fichier *Graphiques_Hac_piézos_complémentaires.pdf*).

Le Tableau 15 présente quelques résultats obtenus en traitant les niveaux moyens annuels (année civile), en ayant retenu comme conditions de possibilité d'un traitement statistique sur des valeurs annuelles un nombre d'années supérieur ou égal à 20 (et sans lacunes plusieurs années de suite au sein de la chronique) et, pour chaque année, au moins 36 mesures bien réparties dans l'année (ce qui est l'équivalent de 3 mesures par mois). Ce choix est peu sévère mais il permet d'obtenir des chroniques plus longues. En appliquant ces critères, 11 piézomètres ont été retenus. Le Tableau 15 contient la moyenne des niveaux, l'amplitude de variation (maximum–minimum), l'autocorrélation d'ordre 1 (variable ro_1) et le résultat du test de Mann-Kendall (exprimé par une p-value).

Piézomètre	Années	Manquantes ou éliminées	Moyenne (m)	Amplitude (m)	ro1	Pente (cm/an)	pvalue du test MK
03328X0024	21	2	245,349	4,68	0,152	-4,2	0,44149
02648X0020	21	2	173,55	1,00	0,097	-1,1	0,11474
00862X0005	47	7*	111,26	1,70	0,463	-1,1	0,13572
03336X0001	21	1	137,018	0,17	0	0	0,92172
01891X0047	21	2	79,364	1,25	0,064	2,3	0,21973
02267X0030	20	0	134,105	1,17	0,171	-1,1	0,51619
01885X0002	21	1	139,637	3,64	0,589	-4,8	0,34366
03745X0021	21	1	257,688	0,59	0,376	-1,7	0,00012
01347X0002	21	2	123,398	1,76	0,494	-1,5	0,75271
01102X0025	47	11*	165,774	0,73	0,194	-0,5	0,00890
00692X0062	35	3	196,991	0,69	0,401	-0,5	0,11165

Tableau 15 - Statistiques et tests sur les moyennes interannuelles des niveaux calculées sur 11 piézomètres complémentaires.

* Années manquantes en début de chronique

À l'exception de la chronique du piézomètre 03328X0024 et de celle du piézomètre 01885X0002, toutes les autres chroniques sont caractérisées par des amplitudes de fluctuation très faibles en moyennes annuelles, comprises entre 0,17 m (03336X0001) et 1,76 m (01347X0002) ; on peut donc anticiper de très faibles écarts entre les valeurs de périodes de retour 5 ans sec, 10 ans sec et 20 ans sec et une faible capacité discriminante de la loi de probabilité ajustée.

Les piézomètres 03745X0021 et 01102X0025 présentent une tendance à la baisse que le test de Mann-Kendall considère comme très significative : p-values inférieures à 1%. Par ailleurs, le coefficient d'autocorrélation est supérieur à 0,3 sur 5 piézomètres. (comme mentionné ci-avant pour les piézomètres du réseau de suivi sécheresse, on pourrait le porter à 0.6, mais cela serait moins rigoureux). Pour une analyse fréquentielle, il ne resterait donc a priori que 5 piézomètres (ou bien 9 avec un seuil d'autocorrélation fixé à 0,6).

En annexe 2 du CD dans le dossier *Champagne* on trouvera pour les 21 piézomètres :

- les graphiques d'évolution des moyennes mensuelles des niveaux ;
- les graphiques d'évolution des moyennes annuelles, des minima et des maxima de chaque année ;
- les histogrammes montrant la répartition des mois où les minima et maxima sont atteints ;
- des graphiques statistiques : boîtes à moustaches, corrélogrammes, distributions cumulées de fréquences, histogrammes ;
- les résultats des tests statistiques utilisés pour la détection de tendances et de ruptures dans les séries des niveaux moyens annuels et des écarts-types annuels.

2.4. RECHERCHE D'ÉLÉMENTS POUR L'AMÉLIORATION DU RÉSEAU DE SUIVI SÉCHERESSE

2.4.1. Essai de détermination de seuils par une analyse fréquentielle

La variable HMA étant intéressante pour définir des seuils piézométriques, une analyse probabiliste a été effectuée sur les séries piézométriques le permettant (piézomètres du réseau de suivi).

2.4.1.1. Sélection des séries de HMNA des piézomètres du réseau actuel de suivi sécheresse

Le Tableau 16 présente les résultats obtenus en traitant les niveaux moyens mensuels minimum année civile (HMNA par analogie avec les QMNA).

Comme pour les niveaux moyens annuels, on retiendra comme conditions de possibilité d'un traitement statistique :

- un nombre d'années avec mesures supérieur ou égal à 20 (et sans lacunes plusieurs années de suite au sein de la chronique) et, pour chaque année, au moins 36 mesures bien réparties dans l'année ;
- l'absence de tendance et de rupture dans les séries et peu d'autocorrélation.

Trois séries de HMNA sont caractérisées par une pente considérée comme significative au seuil de risque de 5 % (Hannogne, Bouvellemont et Praslin, en rouge) et 10 par un coefficient d'autocorrélation à l'ordre 1 (au bout d'une année) supérieur à 0,3 (en bleu), si bien qu'il ne resterait plus que 6 séries pour une analyse fréquentielle.

Remarque :

Concernant les tendances, il peut paraître surprenant qu'une pente de 4,6 cm/an (Sompuis par exemple) ne soit pas considérée comme significative (au seuil de risque de 5%) alors qu'une pente de 1,3 cm/an l'est (Bouvellemont par exemple) : cela dépend de l'amplitude de variation des niveaux.

Pour augmenter le nombre de séries de HMNA candidates à une analyse fréquentielle, de façon pragmatique, la valeur seuil de 0,3 mentionnée ci-avant a été portée à 0,6.

Un autre critère de sélection a été utilisé : la forme de l'histogramme des valeurs. De nombreuses séries piézométriques sont en effet caractérisées par des histogrammes qui ne se prêtent guère à un ajustement de lois de probabilité.

Avec les contraintes portant sur le nombre d'années, sur l'existence de lacunes, sur l'auto-corrélation, sur l'existence de tendance (ou rupture) et sur la forme des histogrammes, 9 séries de HMNA sont à exclure d'une analyse fréquentielle.

Piézomètre	Années	Manquantes ou éliminées	Moyenne (m)	Amplitude (m)	ro1	Pente (cm/an)	pvalue du test MK
Mecringes	48	12*	184,88	2,06	0,515	-1	0,347
Janvilliers	48	9*	207,78	3,51	0,599	0,5	0,699
Saulsothe	48	19*	66,03	7,48	0,679	-0,8	0,872
St-Hilaire	48	12*	124,41	10,17	-0,007	-1,7	0,462
Orvilliers	48	8*	87,57	11,67	0,459	-4,1	0,186
Villeloup	48	8*	139,14	10,08	0,22	+2,2	0,386
Grandes Loges	48	0	84,46	13,53	0,256	+0,2	0,922
Vanault	48	9*	137,87	6,54	0,196	-2	0,105
Linthelles	41	30*	97,00	3,73			
Sompuis	48	8*	136,83	8,47	0,427	-4,6	0,105
Vailly	48	11*	115,54	14,47	0,382	-8,8	0,145
Hannogne	49	8*	102,55	7,52	0,593	-10,8	<10 ⁻⁴
Fresne	49	0	68,70	17,03	0,368	+2,5	0,431
Semide	48	16**	136,45	2,08	0,308	-0,2	0,549
Bussy 1998-2017	20	0	137,75	9,62	0,178	+10,4	0,144
Bouvellemont	48	13*	235,34	2,15	0,578	-1,3	0,004
Silvarouvres	39	2	210,14	1,21	0,16	-1,1	0,074
Praslin	41	1	185,84	2,17	-0,006	-1,4	0,018
Lassicourt	48	15**	111,46	0,54	0,291	-0,3	0,297

Tableau 16 - Statistiques et tests sur les niveaux moyens mensuels minimum (HMNA) calculés sur les 19 piézomètres du réseau de suivi sécheresse.

* Années manquantes au début de la chronique

** Années manquantes au début et au sein de la chronique

*** Années manquantes au sein de la chronique de 1976 à 1997

Il reste donc 10 piézomètres pour une analyse fréquentielle a priori :

- Mécringes, Janvilliers, St-Hilaire, Orvilliers, Villeloup, Grandes Loges, Vanault, Sompuis, Vailly, Fresne.

Les résultats des tests statistiques et les graphiques associés sont consultables dans le dossier Champagne du CD (Annexe_3 : fichier *Graphiques_HMNA_et_Tests.pdf*).

L'illustration 65, l'illustration 66 et l'illustration 67 montrent 3 exemples de séries de HMNA qui ne répondent pas aux conditions d'application d'une analyse fréquentielle :

- Saulsotte : forme de l'histogramme et forte autocorrélation (0,68), encore significative au bout de 2 ans ;
- Lassicourt : forme de l'histogramme et trop faible amplitude de fluctuations (0,54 m) pour que l'analyse fréquentielle soit discriminante pour fixer des seuils (c'est aussi le cas de Silvarouvres) ;
- Hannogne : pente de 10,8 cm/an, très significative (p-value inférieure à 10^{-4} %) ;
- Bouvellemont : pente de 1,3 cm/an, très significative (p-value de 0,4 %).

Remarques :

Lorsqu'il existe une tendance, le test de Pettitt, qui est un test d'homogénéité, indique très généralement une rupture, qui n'est pas vraiment une rupture au sens strict, à savoir une partition de la série en 2 ou plusieurs sous-séries séparées par un "saut" de valeurs. La rupture est une conséquence de l'existence de la pente.

Le test de Wilcoxon, qui accompagne dans cette étude le test de Pettitt, est un test d'homogénéité, complémentaire du test de Pettitt, et qui le confirme en général.

Le résultat d'un test est fourni sous la forme d'une probabilité, une p-value, que l'on compare à un seuil de risque que l'on s'est donné a priori (par exemple 5 % ou 10 %). Le risque c'est celui de rejeter l'hypothèse testée alors qu'elle est vraie.

Si la p-value calculée est inférieure au niveau de risque que l'on s'est fixé, on doit rejeter l'hypothèse testée (par exemple "il n'y a pas de tendance") et retenir l'hypothèse alternative (il existe une tendance).

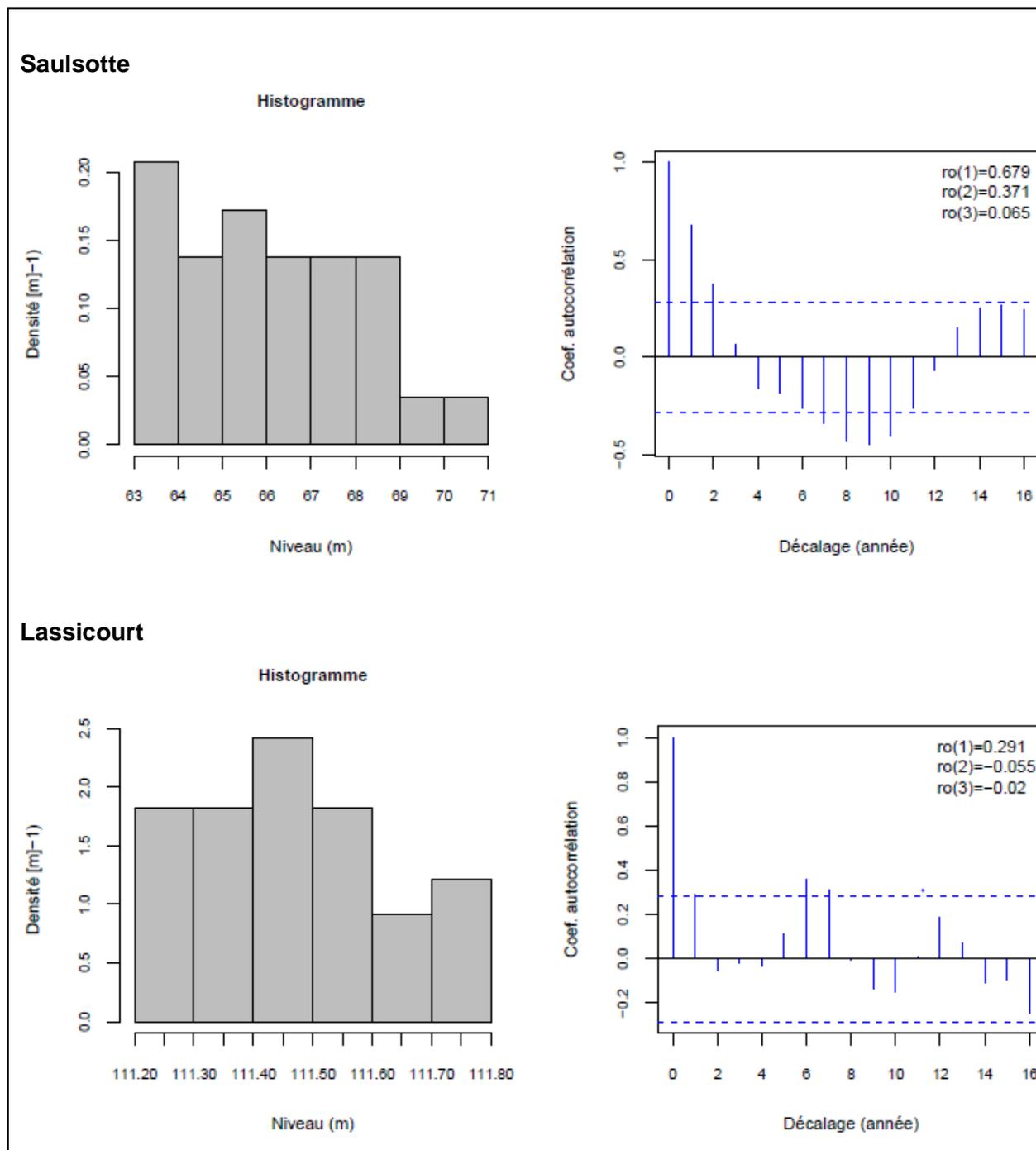


Illustration 65 - Histogramme et corrélogramme des séries de HMNA aux piézomètres de Saulsotte et de Lassicourt.

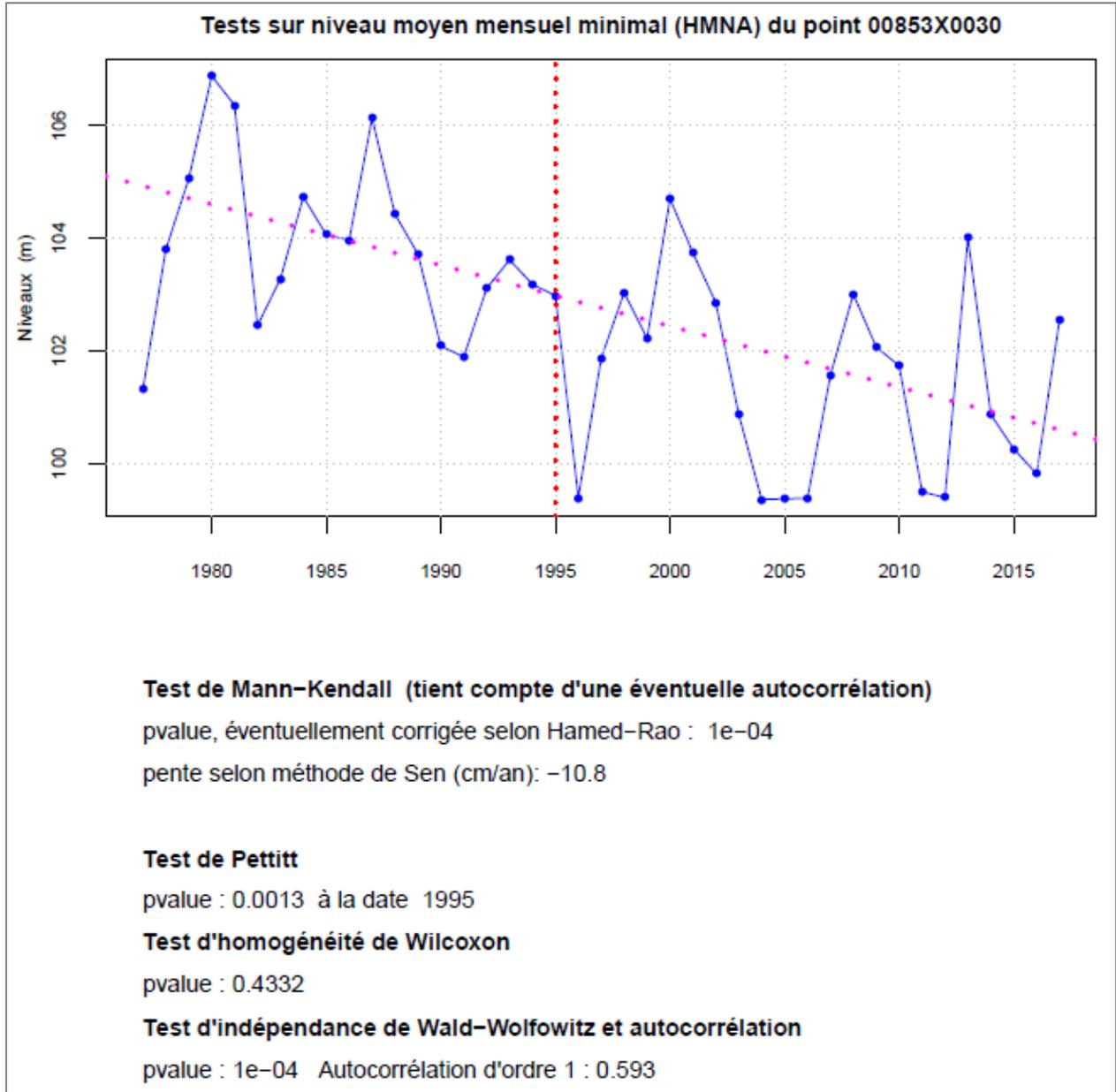


Illustration 66 - Tests sur la série de HMNA au piézomètre de Hannogne, tendance très significative.

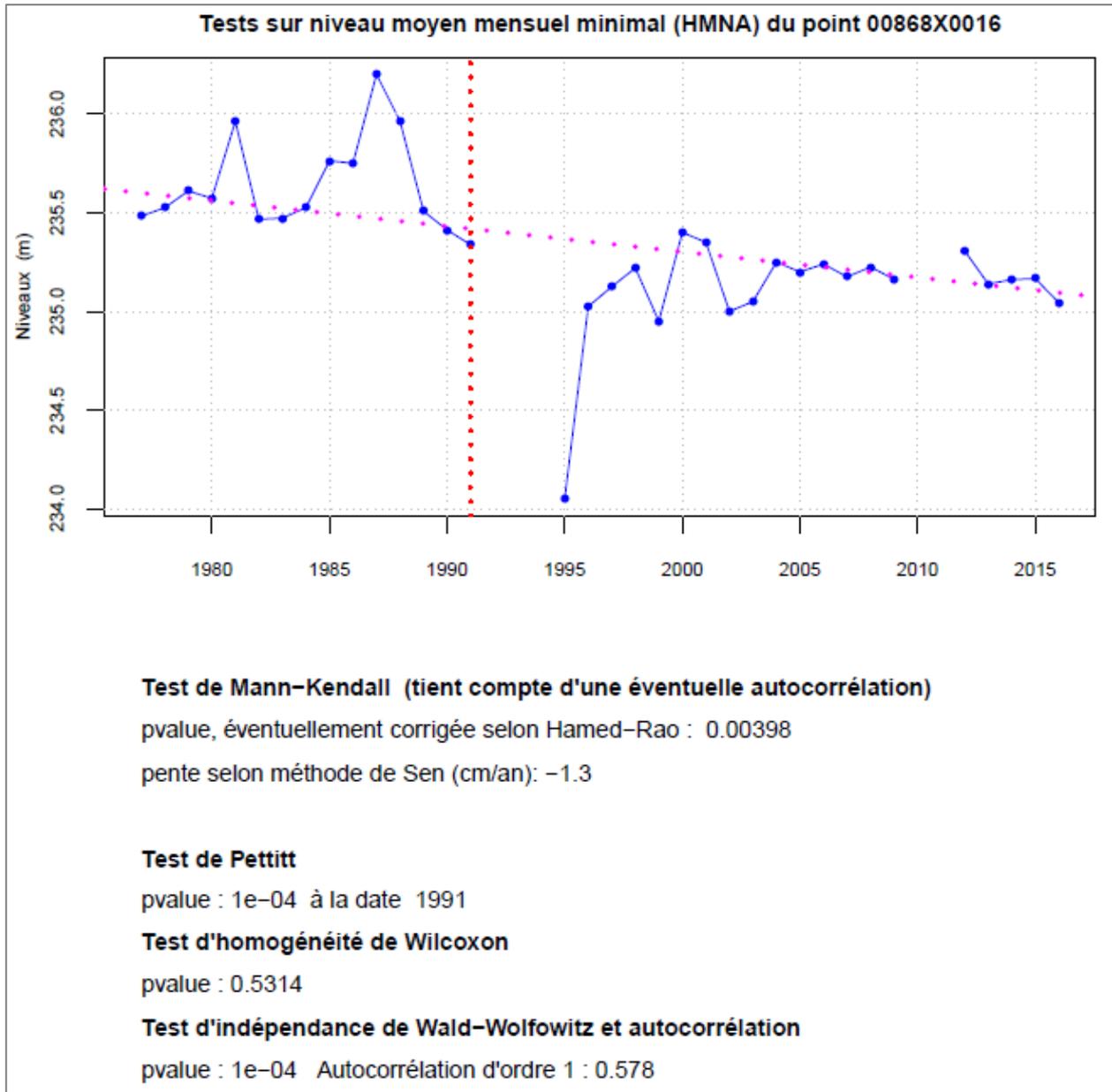


Illustration 67 - Tests sur la série de HMNA au piézomètre de Bouvellemont, pente et rupture très significatives.

2.4.1.2. Loïs de probabilité testées

Quatre lois de probabilité ont été testées : loi Normale, loi Log-normale, loi Gamma et loi de Gumbel. Les meilleurs ajustements obtenus (d'après le test de Kolmogorov-Smirnov) sont rassemblés dans le Tableau 17.

Code BSS	Nappe	Loi	Test	5 ans sec	10 ans sec	20 ans sec
01868X0030	Mecringes Tertiaire-Champigny-Soissonnais	Gumbel	0,703 (KS)	184,50	184,40	184,30
01871X0031	Janvilliers Tertiaire-Champigny-Soissonnais	Normale	0,942 (SW)	207,10	206,80	206,50
02615X0020	St Hilaire Craie Senonais et Pays d'Othe	Gumbel *	0,660 (KS)	122,80	122,30	121,90
02617X0009	Orvilliers Craie Senonais et Pays d'Othe	Log-Normale	0,860 (KS)	85,40	84,31	83,41
02974X0004	Villeloup : Craie Senonais et Pays d'Othe	Gumbel	0,717 (KS)	137,10	136,50	136,00
01584X0023	Grandes Loges : Craie Champagne sud et centre	Gumbel	0,990 (KS)	82,26	81,52	80,97
01894X0002	Vanault Craie Champagne sud et centre	Pas d'ajustement possible				
02255X0003	Sompuis Craie Champagne sud et centre	Pas d'ajustement possible				
02982X0028	Vailly Craie Champagne sud et centre	Log-Normale**	0,932 (KS)	112,8	111,4	110,2
01086X0011	Fresne : Craie Champagne nord	Log-Normale	0,988 (KS)	66,13	64,85	63,82

SW =test de Shapiro-Wilk (pour la loi Normale), KS=test de Kolmogorov-Smirnov

* Peu satisfaisant

** Peu satisfaisant malgré le test de Kolmogorov-Smirnov

Tableau 17 - Résultats de l'analyse fréquentielle réalisée sur 10 séries de HMNA

On remarquera que les écarts de niveaux correspondant aux trois périodes de retour sont parfois très faibles, en particulier aux piézomètres de Mécringes et Orvilliers (10 cm) et dépassent rarement 50 cm.

L'illustration 68 montre un bon ajustement obtenu avec la loi de Gumbel sur la série des HMA au piézomètre des Grandes Loges.

Tous les graphiques (pp-plot et qq-plot, ajustements et intervalles de confiance à 95 % et 70 %) sont reportés dans le *dossier Champagne* du CD en Annexe_4.

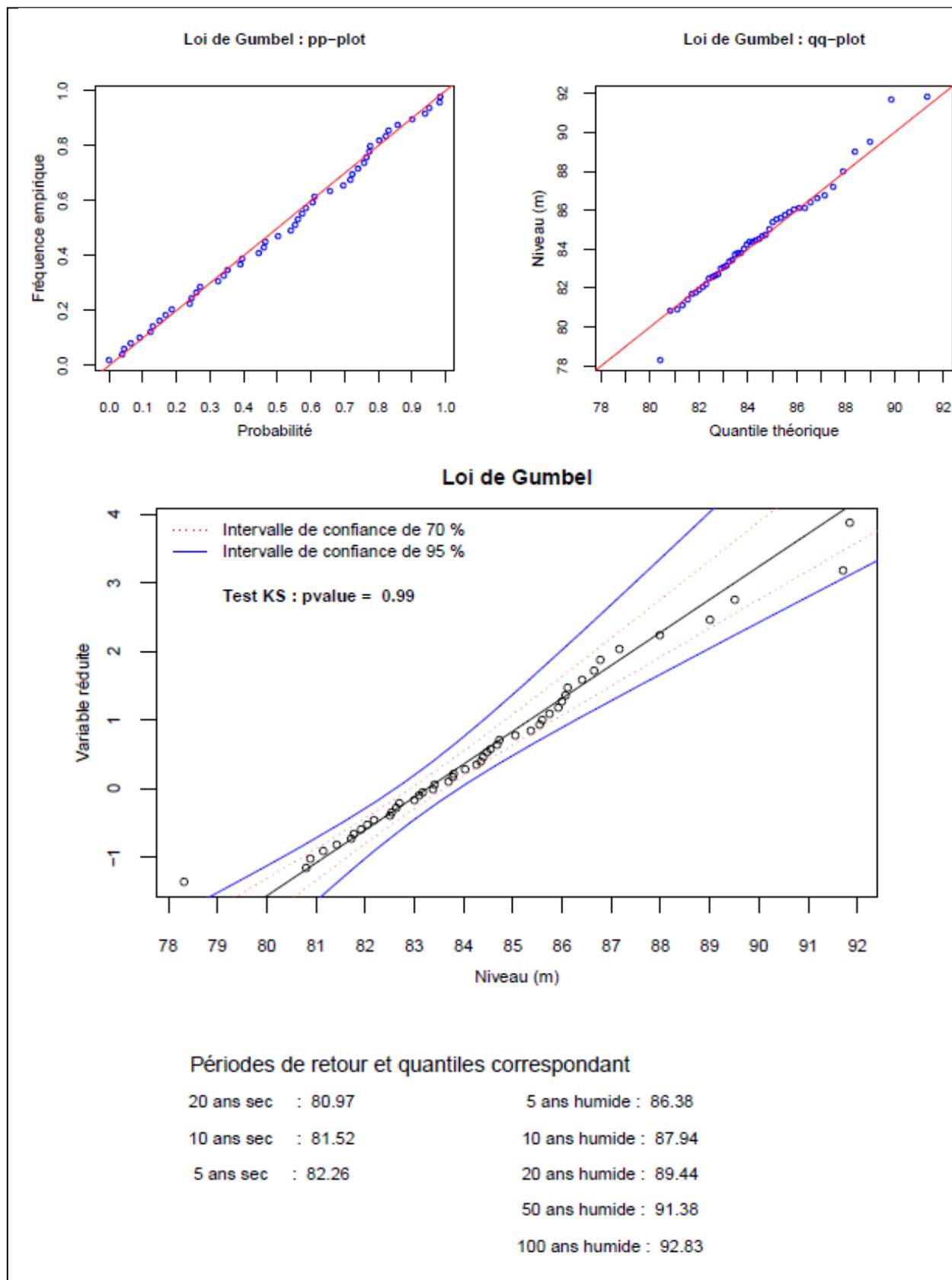


Illustration 68 - Ajustement d'une loi de Gumbel sur la série des HMNA aux Grandes Loges

2.4.2. Relations niveaux piézométriques – débits des cours d'eau

S'il existe des relations nappes – rivières, de faibles débits en période estivale peuvent être la conséquence de niveaux bas de la nappe quelques mois auparavant, le délai étant fonction de la dynamique de la nappe. En général, c'est la situation de la nappe en fin de période hivernale ou au début du printemps qui va conditionner les débits des cours d'eau tributaires en période d'étiage. Il serait donc possible d'anticiper les épisodes d'étiage du réseau hydrographique en déclenchant des seuils d'alerte plus précocement. Toutefois, il est à noter que si les niveaux de nappes peuvent être critiques par rapport aux débits, ils ne le sont pas nécessairement pour la nappe.

Le Tableau 18 présente les associations entre les piézomètres des indicateurs sécheresse et les stations hydrologiques sur les cours d'eau en liaison hydraulique avec les nappes. Piézomètres et stations hydrologiques sont localisés sur l'illustration 69. Les couples ont été construits en considérant les stations hydrologiques appartenant au même bassin hydrologique que les piézomètres ou bien les plus proches en amont ou en aval. Pour quelques couples, la réalité de la liaison hydraulique est peut-être à prouver. Au total 18 couples ont été étudiés (aucune station hydrologique n'a pu être rattachée à Praslin).

Piézomètre (commune)	Code BSS	Station hydrométrique	Code de la station
Mécringes	01868X0030	Le petit Morin à Montmirail	H5412010
Janvilliers	01871X0031	Le petit Morin à Montmirail	H5412010
Hannogne	00853X0030	La Vaux à Edy	H6233020
Fresne-les-Reims	01086X0011	La Suippe à Orainville	H6313020
Semide	01097X0014	La retourne à St-Rémy-le-Petit	H6313030
<i>Bussy-le-Chateau</i>	<i>01593X0100</i>	<i>La Vesle à Bouy</i>	<i>H6402010</i>
<i>Grandes Loges</i>	<i>01584X0023</i>	<i>La Vesle à Bouy</i>	<i>H6402010</i>
Linthelles	02233X0015	La Superbe à St Saturnin	H1603010
Sompuis	02255X0003	L'Aube à Arcis-sur-Aube	H1501010
<i>Vanault-le-Châtel</i>	<i>01894X0002</i>	<i>La Marne à Châlons-sur-Marne</i>	<i>H5201010</i>
<i>Vailly</i>	<i>02982X0028</i>	<i>La Barbuise à Pouan-les-Vallées</i>	<i>H0810010</i>
Orvilliers	02617X0009	L'Ardusson à St-Aubin	H1122020
Villeloup	02974X0004	La Seine à Méry-sur-Seine	H0810010
St-Hillaire	02615X0020	L'Ardusson à St-Aubin	H1122020
Bouvellemont	00868X0016	L'Aisne à Givry	H6221010
Silvarouvres	03712X0012	L'Aujon à Maranville	H1122020
<i>Lassicourt</i>	<i>02636X0009</i>	<i>L'Aube à Blaincourt-sur-Aube</i>	<i>H1231010</i>

Tableau 18 - Couples piézomètre et station hydrologique retenus pour l'analyse niveaux-débits

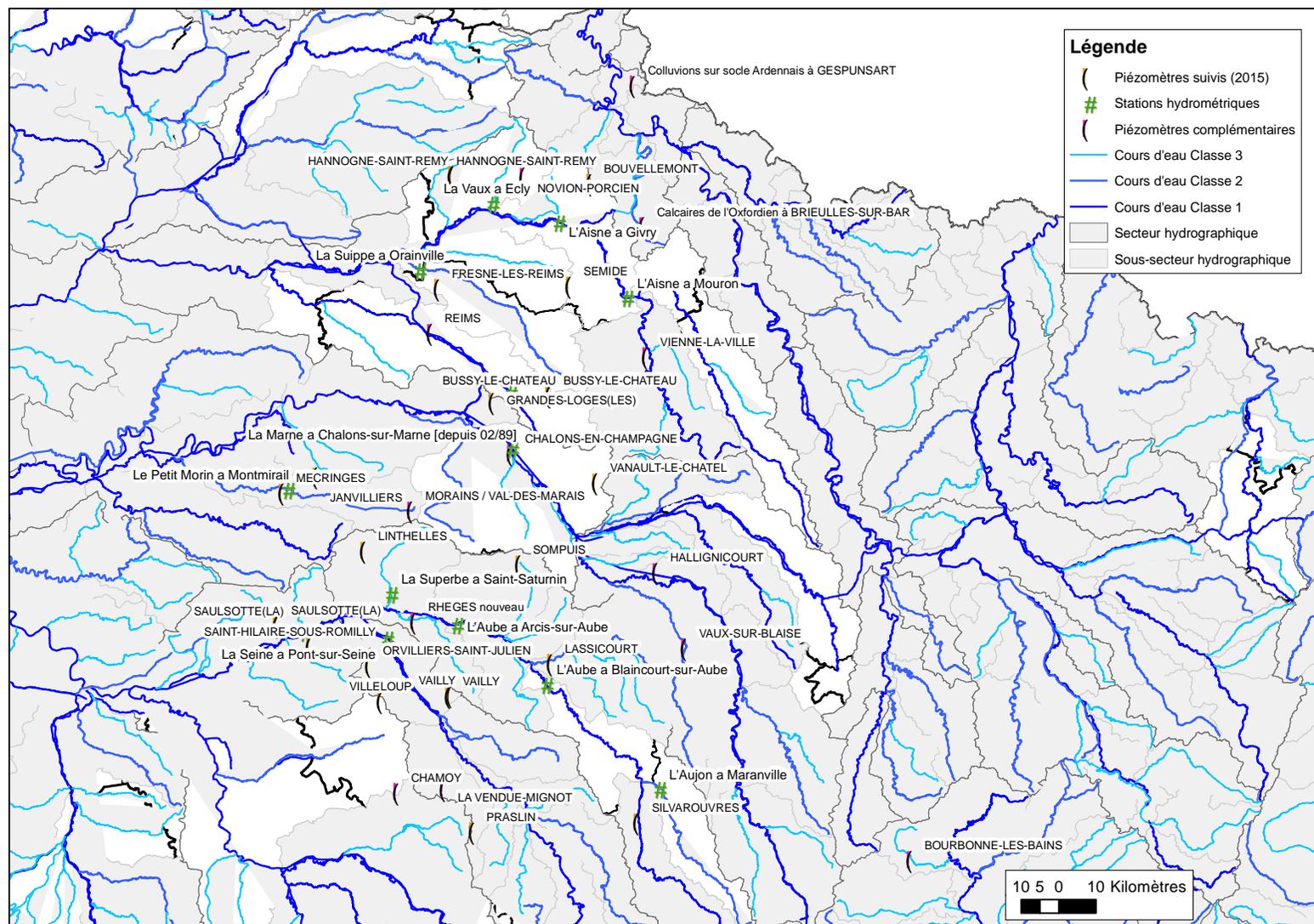


Illustration 69 – Piézomètres suivis et stations hydrométriques en Champagne-Ardenne

L'analyse des relations nappe – rivière repose sur :

- la mise en relation des variations de niveaux et de débits.
- Le calcul du corrélogramme croisé niveaux – débits.

la relation entre les niveaux mensuels d'un mois donné (printemps) et le débit moyen mensuel d'un autre mois (automne). Cette relation est testée pour plusieurs combinaisons de mois.

- la mise en relation QMNA et HMNA.

Tous les graphiques issus de cette analyse sont rassemblés dans le *dossier Champagne* du CD (Annexe_5 : fichier *Relations_nappes_rivières.docx*).

Exemple : niveaux mesurés au piézomètre de Fresne-les-Reims (n° BSS : 01086X0011, captant la nappe de la Craie de Champagne Nord) et débits de la Suippe à Orainville (n° station hydrologique : H6313020).

L'illustration 70 présente 3 graphiques superposant niveaux et débits : aux pas de temps journalier et mensuel (valeurs moyennes mensuelles et minima mensuels). Ces 3 graphiques montrent que les niveaux sont bien corrélés aux débits.

Cette relation est confirmée par les corrélogrammes croisés de l'illustration 71 et de l'illustration 71. Pour les valeurs moyennes et minimales mensuelles de ces deux variables, les corrélogrammes au pas de temps mensuel ne font pas apparaître de décalage temporel et le coefficient de corrélation maximal est de 0,86 dans les deux cas (valeurs moyennes et valeurs minimales).

Le corrélogramme au pas de temps journalier a été calculé pour rechercher s'il existait un décalage inférieur au mois. Comme pour le pas de temps mensuel, il n'y a pas de décalage observable et le coefficient de corrélation est aussi très bon, égal à 0,86.

On notera sur le graphique de l'illustration 72 la très bonne relation entre QMNA et HMNA.

L'illustration 73 présente des diagrammes binaires niveaux-débits mettant en relation les moyennes mensuelles de débit pour les mois d'octobre (1^{ère} rangée) à novembre (3^{ème} rangée) en fonction des niveaux moyens des mois de mars (1^{ère} ligne) à mai (3^{ème} ligne).

Des relations globalement linéaires se dégagent, mais la dispersion des points est importante. Le meilleur coefficient d'ajustement pour une relation linéaire (R²) est seulement de 0,35 (niveaux de mai et débits d'octobre).

Cette absence de relation nette est logique étant donné que la meilleure corrélation niveaux-débits est obtenue sans décalage temporel.

Le graphique de l'illustration 74 présente quant à lui les relations entre débits et niveaux aux mêmes dates, au pas de temps journalier, mais de couleur différente pour chaque année.

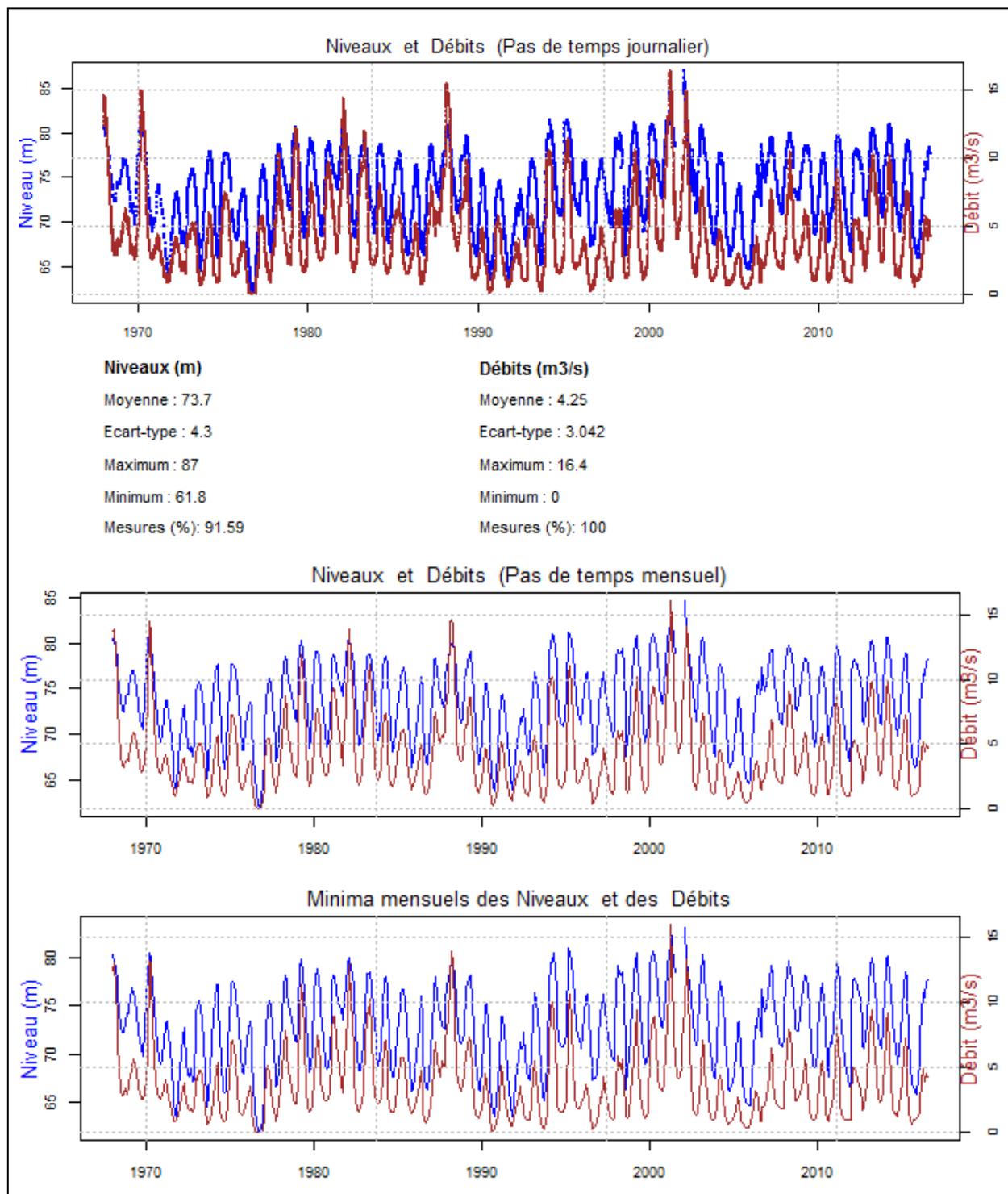


Illustration 70 - Evolutions des niveaux au piézomètre de Fresne-les-Reims et des débits de la Suippe (pas de temps journalier et mensuel).

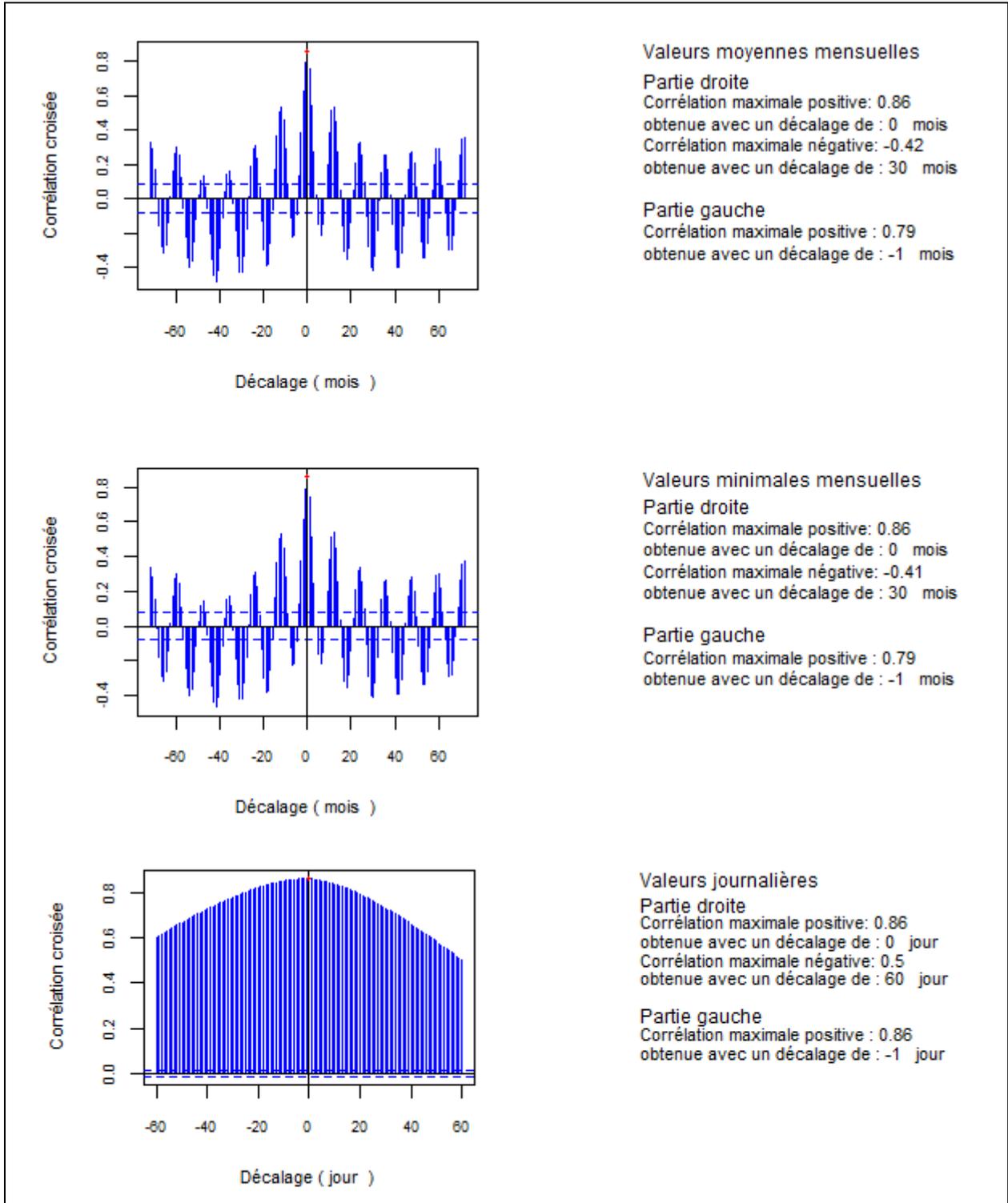


Illustration 71 - Corrélogrammes croisés entre les niveaux au piézomètre de Fresne-les-Reims et les débits de la Suipe.

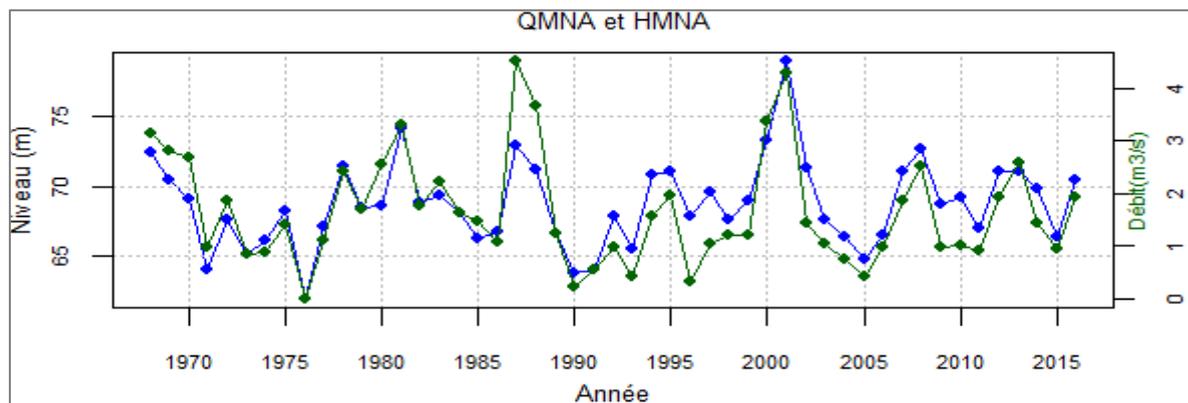


Illustration 72 - Débits de la Suipe et niveaux à Fresnes-les-Reims : relation QMNA-HMNA

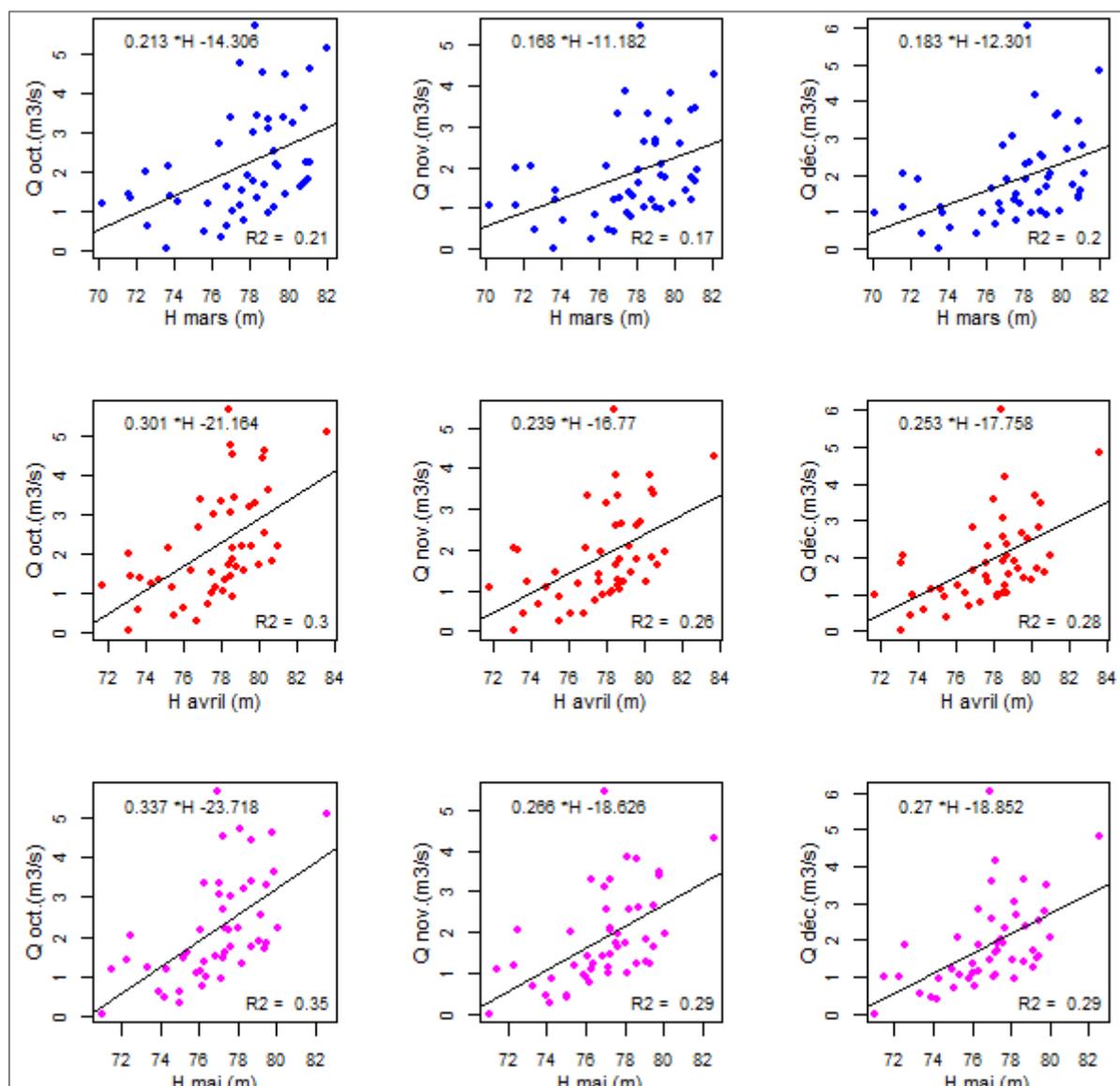


Illustration 73 - Relations entre le niveau moyen mensuel à Fresne-les-Reims et le débit moyen mensuel de la Suipe par couple de mois.

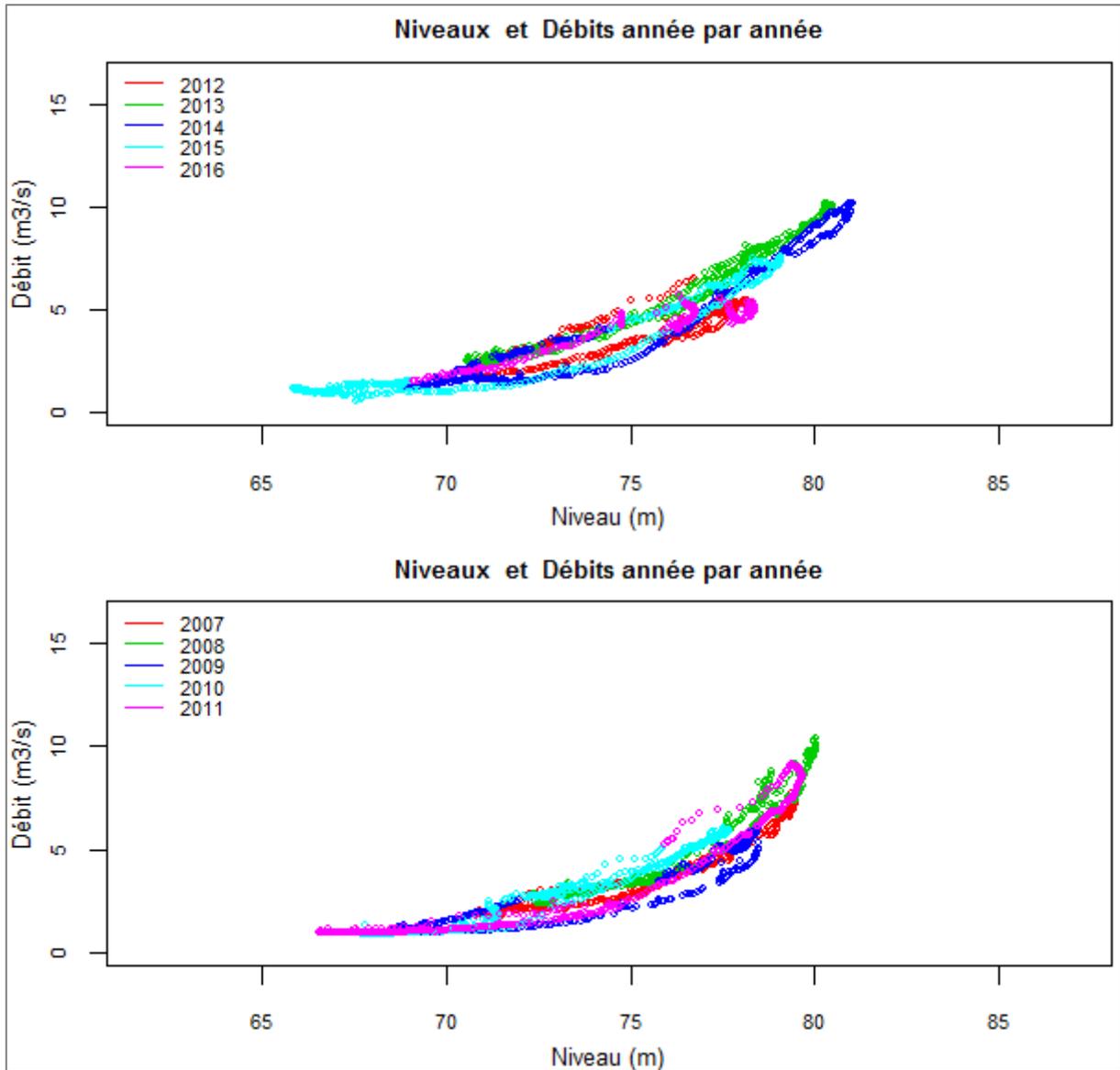


Illustration 74 - Evolution des couples débits de la Suipe-niveaux à Fresnes-les-Reims (aux mêmes dates pour différentes années, de 2007 à 2016)

Le Tableau 19 rassemble les résultats de ces analyses croisées niveaux-débits.

Piézomètre (commune)	Station hydrométrique	Décalage temporel en mois	Coefficient corrélation croisée max.	Décalage temporel en jour	Coefficient corrélation croisée max.
Mécringes	Le petit Morin à Montmirail	-1	0,72		
Janvilliers	Le petit Morin à Montmirail	-1	0,77		
Hannogne	La Vaux à Edy	-2	0,69		
Fresne-les-Reims	La Suippe à Orainville	0	0,86	0	0,86
Semide	La Retourne à St-Rémy-le-Petit	0	0,89	-3	0,89
Bussy-le-Chateau	La Vesle à Bouy	0	0,81	13	0,83
Grandes Loges	La Vesle à Bouy	0	0,91	0	0,90
Linthelles	La Superbe à St Saturnin	-1	0,75		
Sompuis	L'Aube à Arcis-sur-Aube	-2	0,65		
Vanault-le-Châtel	La Marne à Châlons-sur-Marne	-1	0,73		
Vailly	La Barbuise à Pouan-les-Vallées	-2	0,60		
Orvilliers	L'Ardusson à St-Aubin	-3	0,58		
Villeloup	La Seine à Méry-sur-Seine	-1	0,65		
St-Hillaire	L'Ardusson à St-Aubin	-1	0,67		
Bouvellemont	L'Aisne à Givry	0	0,84	-1	0,74
Silvarouvres	L'Aujon à Maranville	0	0,82	0	0,75
Lassicourt	L'Aube à Blaincourt-sur-Aube	0	0,55	0	0,5

Tableau 19 - Résultats des corrélations croisées niveaux – débits

Les corrélogrammes croisés ont été construits de telle sorte que les niveaux soient les "entrées" et les débits les "sorties". La corrélation niveaux-débits se lit alors dans la partie droite du corrélogramme quand elle est maximale : le décalage temporel est positif : les débits évoluent en phase avec les niveaux mais plus tardivement. Si la corrélation est maximale dans la partie gauche le décalage temporel est négatif, ce sont les niveaux qui réagissent plus tardivement.

De très bons coefficients de corrélation, supérieurs à 0,75 ont été obtenus pour 7 couples (en caractères gras dans le tableau). Ils sont compris entre 0,65 et 0,75 pour 7 couples et inférieurs ou égal à 0,6 pour 3 couples (en rouge dans le tableau).

Le décalage temporel est le plus souvent négatif, de 1 et 2 mois (maximum 3 mois pour Orvilliers - La Seine à Méry).

Pour 6 couples, il n'y a pas décalage (12 jours seulement pour Bussy – la Vesle à Bouy).

Les graphiques binaires reliant débits moyens et niveaux moyens mensuels ne font pas ressortir une relation linéaire nette entre les niveaux moyens et les débits moyens en combinant différents mois entre eux. Les coefficients de détermination R^2 dépassent rarement 0,3. Le meilleur coefficient est de 0,57 (relation entre les niveaux d'avril au piézomètre de Bussy et les débits de la Vesle à Bouy en décembre). Par contre, il existe toujours une très forte corrélation entre HMNA et QMNA (Annexe_3 du CD).

2.4.3. Quels seuils choisir : des valeurs de variables relatives à des minima ?

On propose tout d'abord de **ne fixer que des seuils annuels**, au lieu de seuils mensuels comme c'est le cas actuellement, ce qui permettra de mieux rendre compte de l'état des nappes en période de récession et d'éviter les inconvénients des seuils mensuels notés précédemment.

2.4.3.1. Examen de quelques variables candidates

Pour les 19 piézomètres du réseau de suivi sécheresse, on peut envisager les 4 possibilités suivantes :

- le HMNA5, équivalent du QMNA5 pour les niveaux, niveau moyen mensuel minimum de période de retour 5 ans ;
- la moyenne des niveaux moyens mensuels minimum de chaque année (HMNA) ;
- la moyenne des minima relevés chaque année dans la chronique journalière ;
- le minimum absolu (seuil historique) relevé dans la chronique de mesures ou bien le minimum de la série des HMNA (qui en est très proche).

Les valeurs de ces différentes variables ont été reportées dans le Tableau 20 pour chaque piézomètre :

Code BSS	Commune	Mini absolu	HMNA5	Moyenne des minima annuels	Moyenne des HMNA
01868X0030	Mecringes	183,83	184,50	184,70	184,88
01871X0031	Janvilliers	205,93	207,10	207,59	207,78
02603X1064	Saulsotte	63,06		66,08	66,03
02615X0020	St-Hilaire	119,05	122,80	124,08	124,41
02617X0009	Orvilliers	83,16	85,40	87,24	87,57
02974X0004	Villeloup	135,87	137,10	138,52	139,14
01584X0023	Grandes Loges	78,27	82,26	84,01	84,46
01894X0002	Vanault	136,43		137,62	137,87
02233X0015	Linthelles	94,7		97,02	97,00
02255X0003	Sompuis	133,74		136,39	136,83
02982X0028	Vailly	109,75	112,80	114,90	115,54
00853X0030	Hannogne	99,1		102,55	102,55
01086X0011	Fresne	61,81	66,13	68,25	68,70
01097X0014	Semide	114,8		116,15	116,33
01593X0100	Bussy	132,85		135,72	136,75
00868X0016	Bouvellemont	233,6		235,22	235,34
03712X0012	Silvarouvres	209,3		209,92	210,14
03693X0017	Praslin	184,94		185,60	185,84
02636X0009	Lassicourt	111,07		111,39	111,46

Tableau 20 – Valeurs de différentes variables relatives à des minima

Dans ce tableau, on note la hiérarchie suivante :

Minima absolus < HMNA5 < moyenne des minima annuels < moyenne des HMNA.

1) HMNA5

Le HMNA5 pourrait être intéressant comme seuil d'alerte ou d'alerte renforcée, mais il ne peut être calculé que pour quelques piézomètres seulement comme on l'a vu au § 2.4.1.2. Ces piézomètres, au nombre de 8, et le HMNA5 correspondant sont rappelés dans le tableau 20.

2) Moyenne des niveaux moyens mensuels minimum de chaque année (moyenne des HMNA)

Sachant que la plupart des piézomètres révèlent des nappes à cycles pluriannuels, les écarts entre niveaux moyens mensuels minimum sur la durée de la chronique peuvent être importants (minima "hauts" et minima "bas"), ce qui pourrait conduire à une moyenne trop haute pour les piézomètres captant certaines de ces nappes et donc d'écarter éventuellement des valeurs moyennes en tant que seuils d'alerte renforcée ou de crise.

Les écarts les plus importants se rencontrent sur les 11 piézomètres suivants (Tableau 21) :

Piézomètre	Minimum le plus "bas" (m)	Minimum le plus "haut" (m)	Ecart (m)
Fresne	61,91	78,95	17,04
Vailly	110,12	124,60	14,48
Grandes Loges	78,32	91,85	13,53
Orvilliers	83,40	95,07	11,67
St Hilaire	119,83	130	10,17
Villeloup	136,10	146,18	10,08
Bussy	133,20	142,82	9,62
Sompuis	133,85	142,32	8,47
Hannogne	99,36	106,88	7,52
Saulsotte	63,09	70,57	7,48
Vanault	136,47	143,01	6,54

Tableau 21 – Piézomètres avec des écarts importants entre niveaux moyens mensuels minimum

Le Tableau 22 ci-après est plus détaillé ; il rassemble tous les piézomètres et contient :

- dans la première colonne les 3 niveaux mensuels minimum les plus bas rencontrés sur 3 années dans les séries ;
- dans la seconde colonne les 3 niveaux mensuels minimum les plus hauts rencontrés sur 3 années dans les séries ;

Dans la première colonne on trouvera aussi le minimum absolu (en rouge) relevé dans chaque chronique de mesures.

Niveaux mensuels minimum les plus "bas", relevés sur 3 années (m) de la chronique	Niveaux mensuels minimum les plus "hauts", relevés sur 3 années (m) de la chronique
Point de mesure : 01868X0030 Mécringes 01/01/1977 184,33 01/04/2005 184,34 01/11/2009 184,39 Minimum absolu : 183,83	Point de mesure : 01868X0030 01/09/1981 185,73 01/01/1987 185,79 01/07/2001 186,38
Point de mesure : 01871X0031 Janvilliers 01/10/1992 206,11 01/11/1991 206,29 01/11/1993 206,56 Minimum absolu : 205,93	Point de mesure : 01871X0031 01/10/1998 208,94 01/12/2002 208,96 01/09/2001 209,62
Point de mesure : 02603X1064 Saulsotte 01/11/2006 63,09 01/12/2005 63,09 01/08/1992 63,41 Minimum absolu : 63,06	Point de mesure : 02603X1064 01/11/2000 68,86 01/01/1985 69,47 01/09/2001 70,57
Point de mesure : 02615X0020 St-Hilaire 01/07/1999 119,83 01/06/2000 120,40 01/10/2009 122,70 Minimum absolu : 119,05	Point de mesure : 02615X0020 01/10/1977 127,68 01/08/1981 128,60 01/06/2001 130,00
Point de mesure : 02617X0009 Orvilliers 01/08/1992 83,4 01/11/1991 83,403 01/12/2009 84 Minimum absolu : 83,16	Point de mesure : 02617X0009 01/10/1987 91,317 01/10/2000 91,384 01/01/2001 95,072
Point de mesure : 02974X0004 Villeloup 01/10/2009 136,10 01/10/1989 136,30 01/10/1991 136,37 Minimum absolu : 135,87	Point de mesure : 02974X0004 01/08/2013 145,07 01/09/1981 145,22 01/09/2001 146,18
Point de mesure : 01584X0023 Grandes Loges 01/10/1976 78,32 01/10/2004 80,80 01/09/1990 80,88 Minimum absolu : 78,27	Point de mesure : 01584X0023 01/09/1981 89,51 01/07/2001 91,71 01/09/1987 91,85
Point de mesure : 01894X0002 Vanault 01/11/1991 136,47 01/12/2011 136,54 01/10/1996 136,55 Minimum absolu : 136,43	Point de mesure : 01894X0002 01/07/2000 140,70 01/10/1980 141,83 01/06/1987 143,01
Point de mesure : 02233X0015 * Linthelles 01/01/2006 95,15 01/11/2009 95,54 01/08/2010 96,33 Minimum absolu : 94,70	Point de mesure : 02233X0015 * 01/11/2008 97,90 01/01/2013 98,60 01/10/2014 98,88
Point de mesure : 02255X0003 Sompuis 01/01/1992 133,85 01/12/1991 134,05 01/12/2011 134,34 Minimum absolu : 133,74	Point de mesure : 02255X0003 01/10/1981 140,65 01/09/2000 140,89 01/10/2001 142,32

Tableau 22 – Niveaux mensuels minimum les plus "bas" et les plus "hauts" relevés dans la série des HMNA

Niveaux mensuels minimum les plus "bas" (m) relevés sur 3 années de la série des HMNA	Niveaux mensuels minimum les plus "hauts" (m) relevés sur 3 années de la série des HMNA
Point de mesure : 02982X0028 Vailly 01/01/1977 110,12 01/12/2009 111,59 01/11/1990 111,65 Minimum absolu : 109,75	Point de mesure : 02982X0028 01/01/1981 121,39 01/01/2013 122,92 01/11/2001 124,60
Point de mesure : 00853X0030 Hannogne 01/11/2004 99,36 01/12/2005 99,37 01/01/2006 99,38 Minimum absolu : 99,10	Point de mesure : 00853X0030 01/09/1987 106,13 01/09/1981 106,36 01/11/1980 106,88
Point de mesure : 01086X0011 Fresne 01/10/1976 61,91 01/10/1990 63,78 01/11/1971 63,96 Minimum absolu : 61,81	Point de mesure : 01086X0011 01/10/2000 73,24 01/09/1981 74,13 01/07/2001 78,95
Point de mesure : 01097X0014 Semide 01/01/1977 115,63 01/11/1996 115,68 01/11/1990 115,69 Minimum absolu : 114,80	Point de mesure : 01097X0014 01/11/1988 116,85 01/01/1987 117,69 01/09/1981 117,70
Point de mesure : 01593X0100 Bussy 01/11/2003 133,20 01/10/2009 133,20 01/08/2015 133,40 Minimum absolu : 132,85	Point de mesure : 01593X0100 01/11/1969 141,16 01/06/2017 141,33 01/09/2013 142,82
Point de mesure : 00868X0016 Bouvellemont 01/12/1995 234,05 01/09/1999 234,95 01/09/2002 235,00 Minimum absolu : 233,60	Point de mesure : 00868X0016 01/09/1981 235,96 01/06/1988 235,96 01/06/1987 236,20
Point de mesure : 03712X0012 Silvarouvres 01/09/2005 209,55 01/07/2011 209,55 01/10/1985 209,70 Minimum absolu : 209,30	Point de mesure : 03712X0012 01/07/1994 210,58 01/06/2001 210,62 01/10/1977 210,76
Point de mesure : 03693X0017 Praslin 01/09/2003 185,07 01/09/1996 185,11 01/08/2015 185,29 Minimum absolu : 184,94	Point de mesure : 03693X0017 01/10/1977 186,56 01/09/1981 187,09 01/09/2001 187,24
Point de mesure : 02636X0009 Lassicourt 01/10/1996 111,23 01/11/2009 111,27 01/10/2004 111,28 Minimum absolu : 111,07	Point de mesure : 02636X0009 01/10/2001 111,73 01/10/1977 111,73 01/09/2013 111,77

Tableau 22 (suite) - Niveaux mensuels minimum les plus "bas" et les plus "hauts" relevés dans la série des HMNA

3) Moyenne des minima annuels

Comme pour la moyenne des niveaux moyens mensuels minimum de chaque année, l'utilisation de la moyenne des minima annuels (qui en est très proche, cf. tableau 20), les écarts entre minima sur la durée de la chronique seront importants pour certains piézomètres à doubles cycles, avec le même inconvénient d'obtenir dans ce cas une moyenne trop haute.

4) Minima absolus

Les minima absolus pourraient être utilisés comme seuils de crise mais les valeurs relevées dans les chroniques et indiquées dans le tableau 22 sont parfois trop basses par rapport à toutes les autres valeurs de la chronique, révélant plutôt de cas très particuliers, pour que l'on puisse les utiliser systématiquement comme seuils de crise. Le minimum des valeurs de la série des HMNA (un peu plus haut) serait préférable.

2.4.3.2. Représentations graphiques

Pour les 6 premiers piézomètres du tableau 21 où les écarts entre minima sont supérieurs à 10 m et pour lesquels une analyse fréquentielle a été possible, on a reporté sur les graphiques d'évolution des niveaux (Illustration 75 et Illustration 76) :

- la moyenne des HMNA (ligne horizontale jaune) ;
- la moyenne des minima annuels (ligne horizontale orange) ;
- la valeur du HMNA5 (ligne horizontale mauve) ;
- le minimum des valeurs de la série des HMNA (ligne horizontale rouge, par exemple 184,33 m à Mécringes, cf. tableau 22).

La moyenne est représentée par une ligne horizontale verte.

Sur ces graphiques, on observe le positionnement relativement élevé de la moyenne des minima annuels aux piézomètres de Fresne, Vailly et Orvilliers.

L'illustration 77 quant à elle présente les mêmes graphiques pour les piézomètres de Mécringes et Janvilliers où une analyse fréquentielle a été aussi possible (les écarts entre minima y sont moindres : respectivement 2,05 m et 3,51 m).

Pour les 19 piézomètres, les graphiques d'évolution des niveaux et les seuils superposés sont consultables dans le *dossier Champagne* du CD (Annexe_6 : *Graphiques_H_avec_seuils.pdf*).

2.4.3.3. Propositions

Pour les 8 piézomètres où le HMNA5 a été calculé, on pourrait envisager de retenir :

- la moyenne des minima annuels comme seuil d'alerte (bien qu'elle soit parfois un peu forte) ;
- le HMN5 comme seuil d'alerte renforcé ;
- le minimum des valeurs de la série des HMNA comme seuil de crise (bien qu'il soit parfois très bas, proche du minimum absolu).

Pour les autres piézomètres, (Saulsotte, Vanault, Linthelle, ...et en particulier Bouvellemont et Silvarouvres), la définition de 3 seuils apparaît plus difficile. Le seuil d'alerte pourrait être la moyenne des HMNA (parfois très proche de la moyenne des minima annuels) et le seuil de crise le minimum de la série des HMNA.

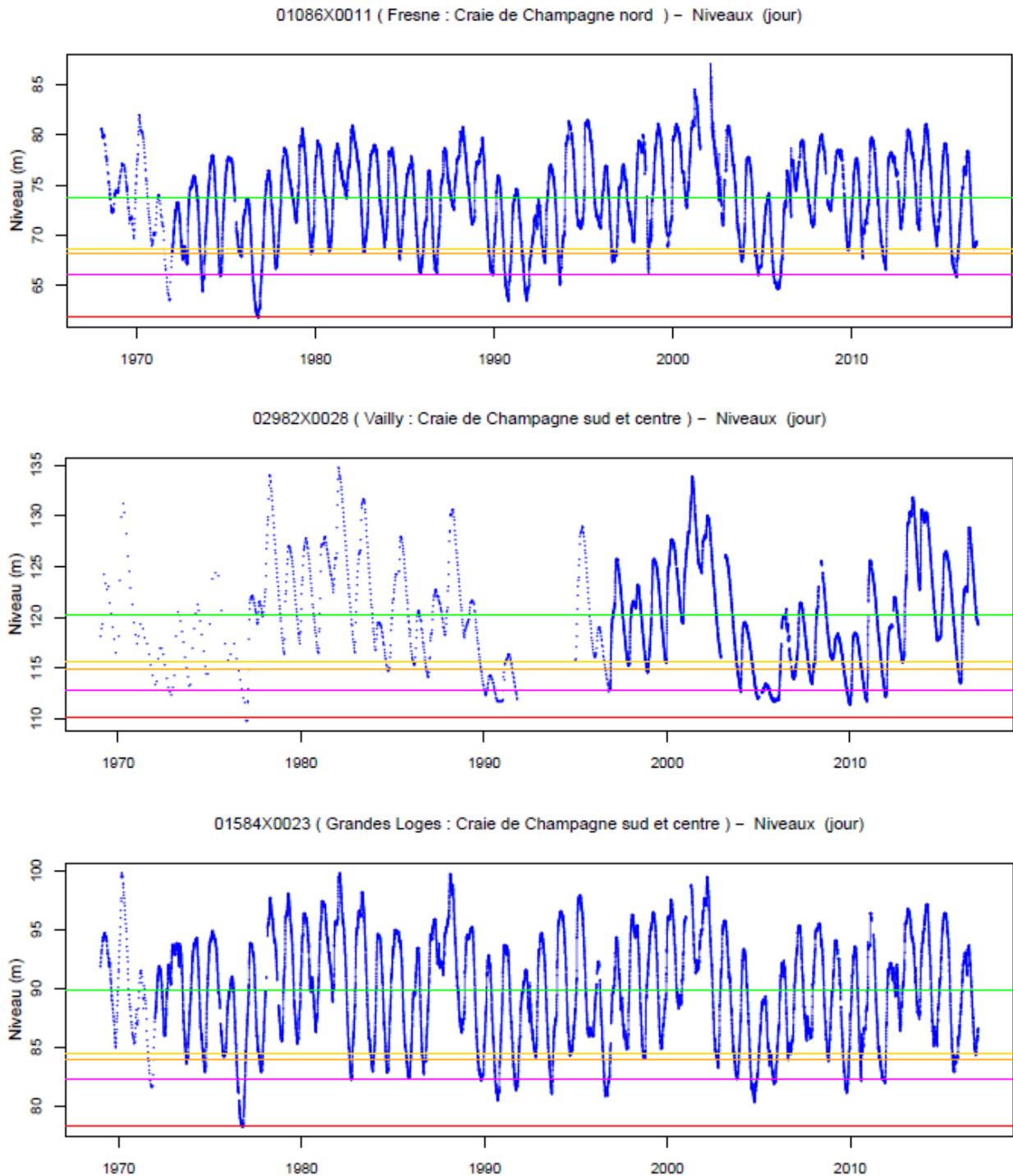


Illustration 75 – Report du minimum des HMNA (ligne rouge), du HMNA5 (ligne mauve), de la moyenne des minima de chaque année (ligne orange) et de la moyenne des HMNA (ligne jaune) aux piézomètres de Fresne, Vailly et Grandes Loges

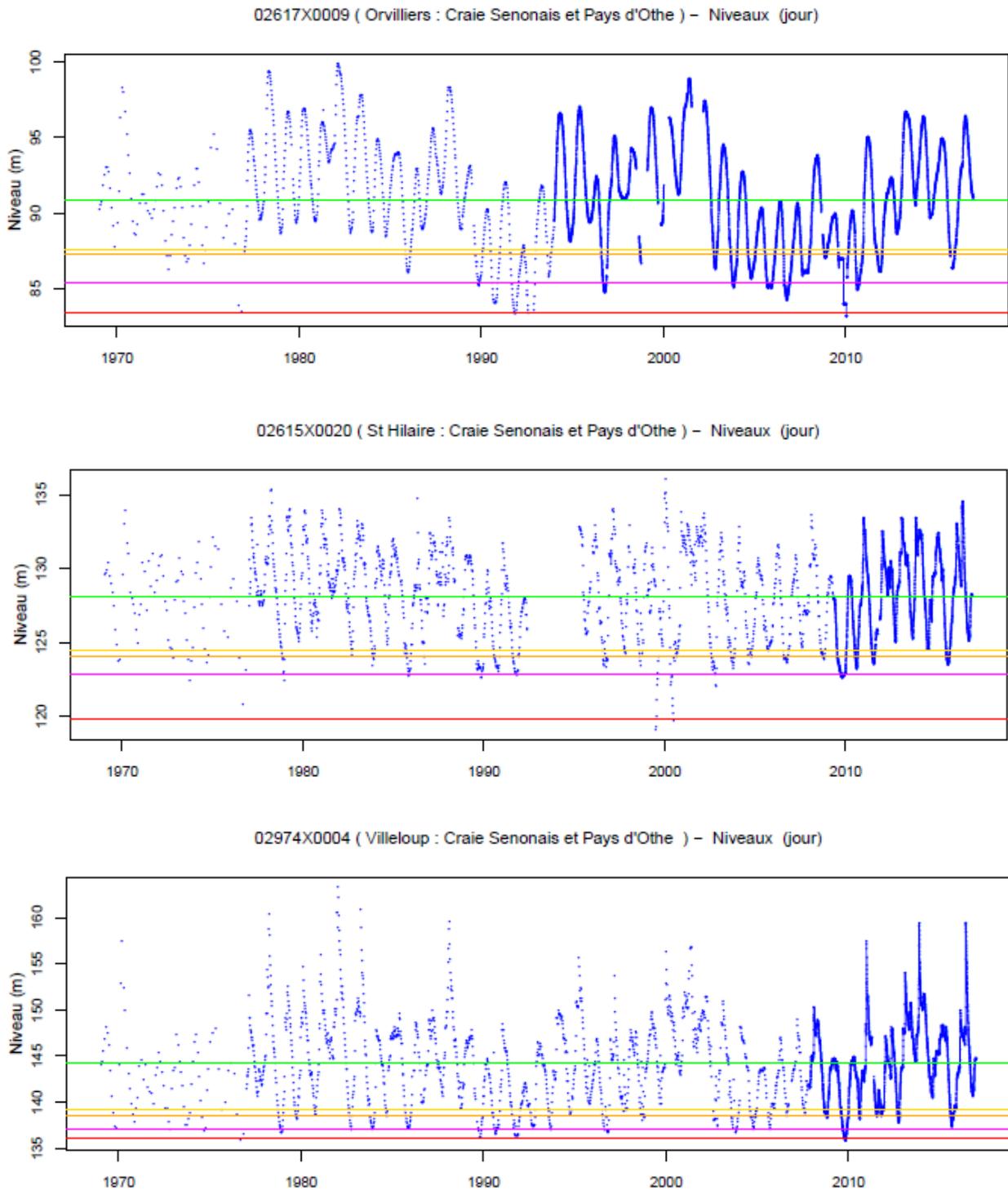


Illustration 76 - Report du minimum des HMNA (ligne rouge), du HMNA5 (ligne mauve), de la moyenne des minima de chaque année (ligne orange) et de la moyenne des HMNA (ligne jaune) aux piézomètres d'Orvilliers, de St-Hilaire et de Villeloup

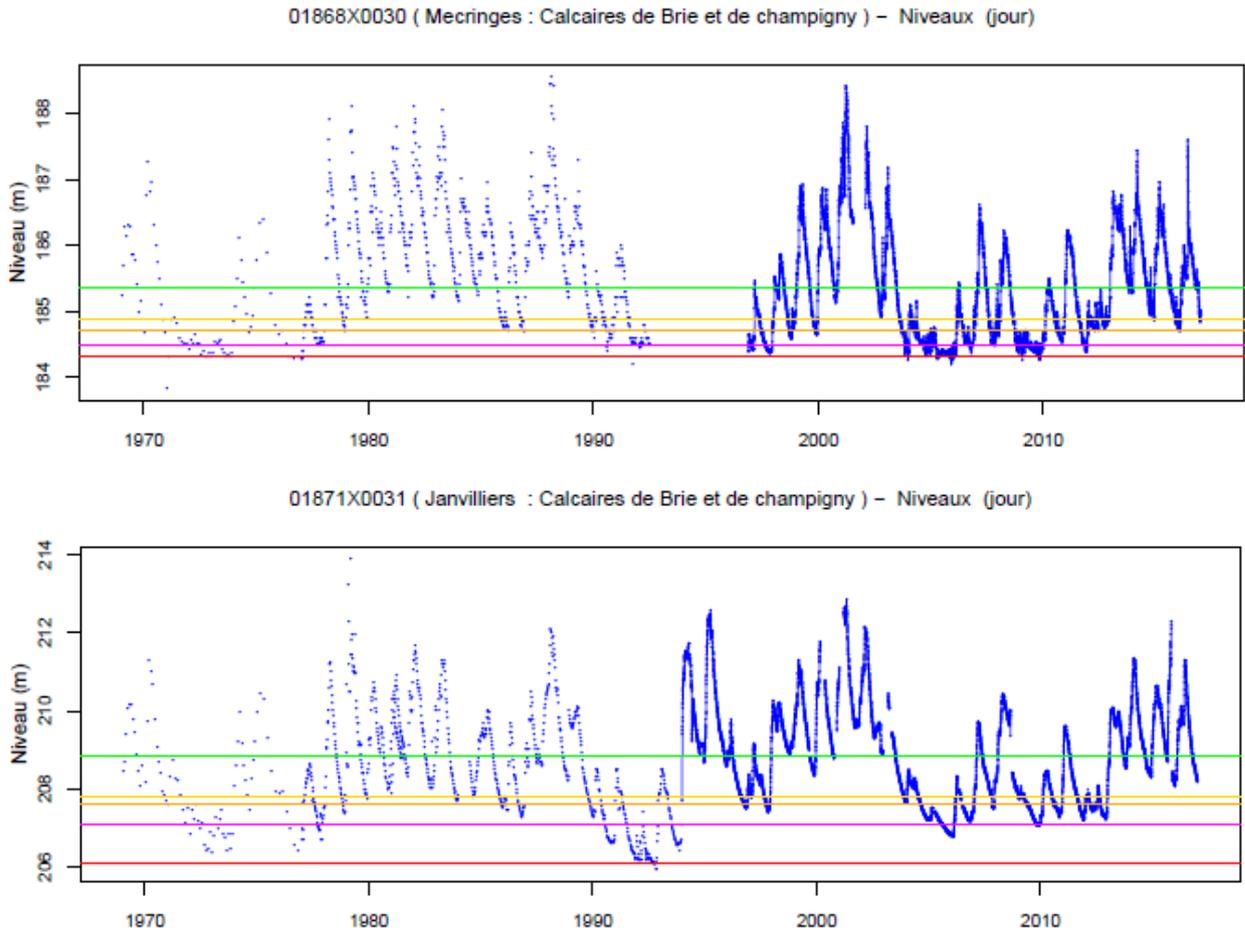
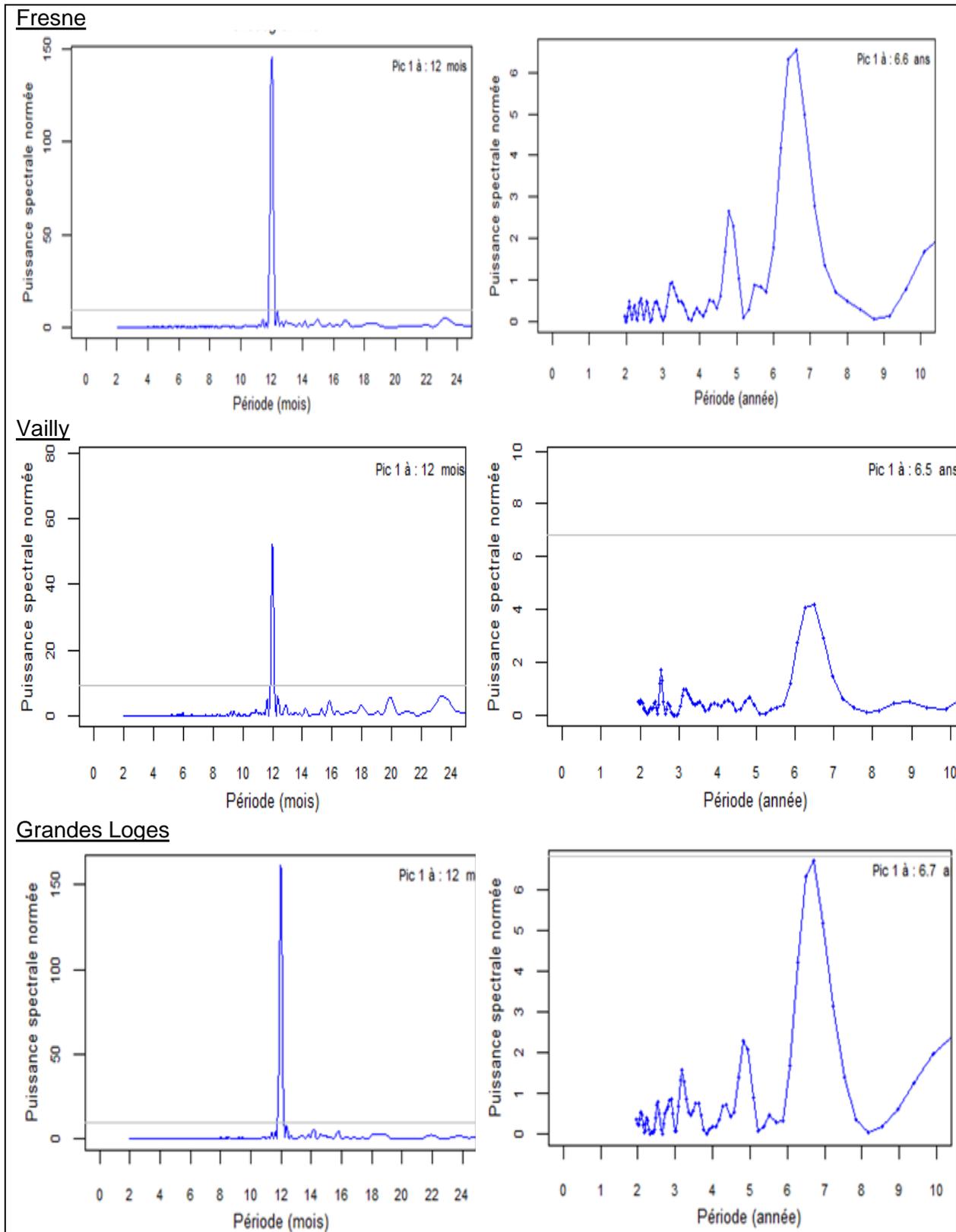


Illustration 77 – Report du minimum des HMNA (ligne rouge), du HMNA5 (ligne mauve), de la moyenne des minima de chaque année (ligne orange) et de la moyenne des HMNA (ligne jaune) aux piézomètres de Mécringes et de Janvilliers

Remarque : l'existence de doubles cycles sur certaines chroniques peut être confirmée par une analyse spectrale. Elle a été réalisée pour quelques piézomètres. Les périodogrammes (Illustration 78 et Illustration 79) mettent en évidence :

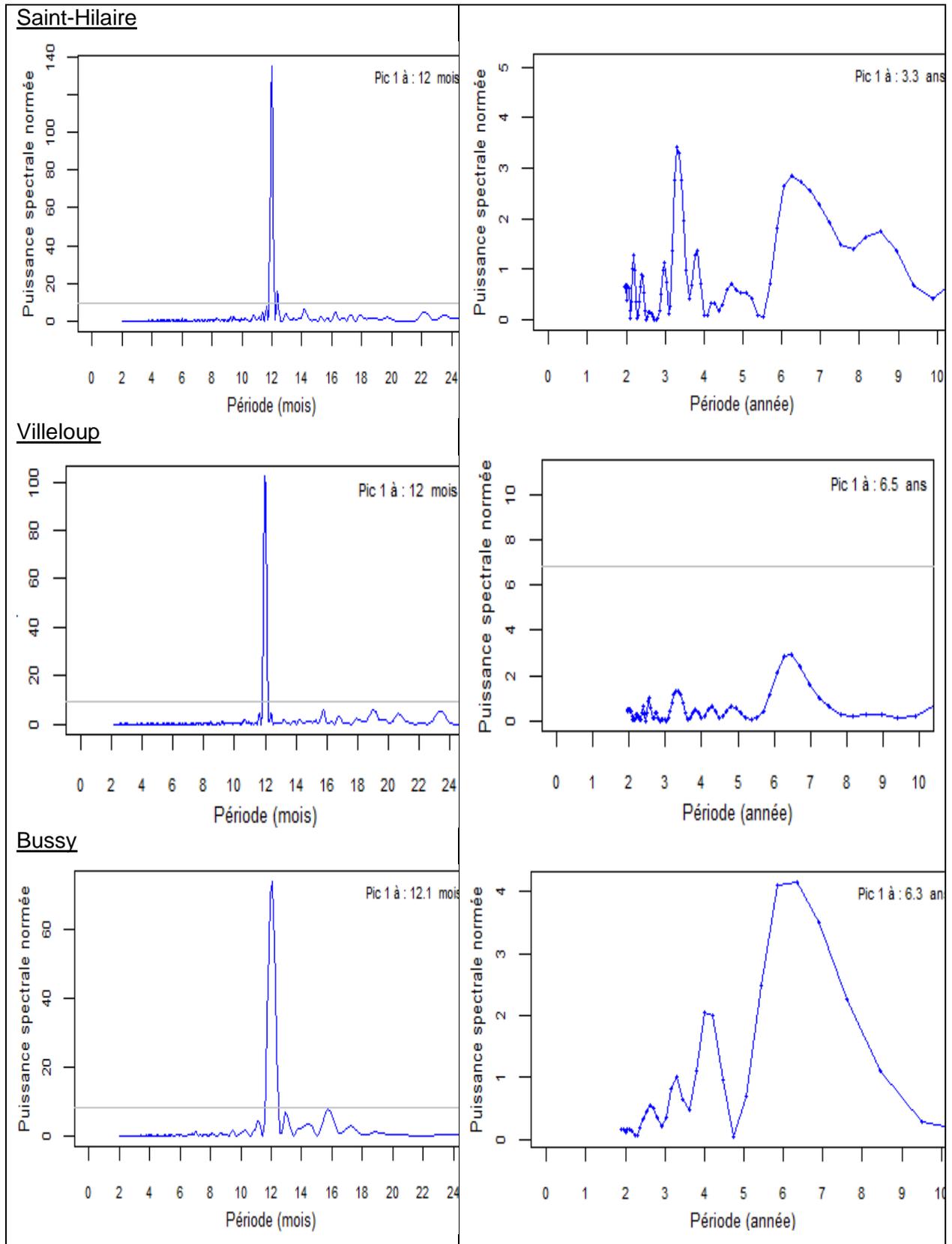
- un cycle annuel, qui ressort très nettement ;
- un cycle d'environ 7 ans (de 6,5 à 6,7 ans), toujours présent mais moins caractérisé.

A Saint Hilaire, un "pic" à 3 ans s'intercale.



La ligne horizontale grise indique le seuil de significativité

Illustration 78 – Périodogrammes calculés pour les piézomètres de Fresne, Vailly et Grandes Loges



La ligne horizontale grise indique le seuil de significativité

Illustration 79 – Périodogrammes calculés pour les piézomètres de St-Hilaire, Villeloup et Bussy.

2.4.4. Quels seuils choisir : l'Index Piézométrique Standardisé pourrait-il être utilisé ?

L'indicateur piézométrique standardisé (IPS) est utilisé depuis janvier 2017 dans ADES pour la réalisation du bulletin de situation hydrologique national et le programme de calcul est disponible pour tous les acteurs régionaux le souhaitant. Les détails du calcul de l'IPS sont présentés dans le [rapport BRGM/RP-64147-FR](#) (J.J. Seguin, 2015).

L'IPS varie entre -3 et + 3 et comporte 7 classes allant de niveaux très bas à niveaux très hauts (Tableau 23). L'équivalent en termes de période de retour est indiqué afin de permettre de se référer aux arrêtés préfectoraux « sécheresse » existants. En toute rigueur les périodes de retour ne doivent être utilisées que lorsque les conditions d'application d'une analyse fréquentielle le permettent (ce qui, d'une façon générale n'est pas toujours possible et comme l'a montré, en particulier, l'analyse faite ci-avant des séries piézométriques du réseau de suivi sécheresse de Champagne-Ardenne).

Classes de l'IPS		Qualification des niveaux	Période de retour
Min.	Max.		
≥ 1.282	≤ 3.000	Niveaux très hauts	> 10 ans humide
≥ 0.842	< 1.282	Niveaux hauts	entre 5 ans humide et 10 ans humide
≥ 0.253	< 0.842	Niveaux modérément hauts	entre 2.5 ans humide et 5 ans humide
≥ -0.253	< 0.253	Niveaux autour de la moyenne	entre 2.5 ans humide et 2.5 ans sec
≥ -0.842	< -0.253	Niveaux modérément bas	entre 2.5 ans sec et 5 ans sec
-1.282	< -0.842	Niveaux bas	entre 5 ans sec et 10 ans sec
≥ -3.000	< -1.282	Niveaux très bas	> 10 ans sec

Tableau 23 - Classes de l'indicateur piézométrique standardisé et équivalence éventuelle en termes de période de retour.

L'IPS est un indicateur de situation de la ressource, calculé a posteriori : il caractérise la situation d'une nappe, en moyenne, pour le mois qui vient de s'écouler. A priori, il ne saurait donc convenir en tant qu'indicateur de gestion comportant 3 seuils déclencheurs de mesures à prendre en situation de sécheresse.

A titre illustratif, on a tracé 9 graphiques montrant les variations de l'IPS (Illustration 80, Illustration 81, Illustration 82) sur lesquels les valeurs suivantes de l'IPS ont été reportées :

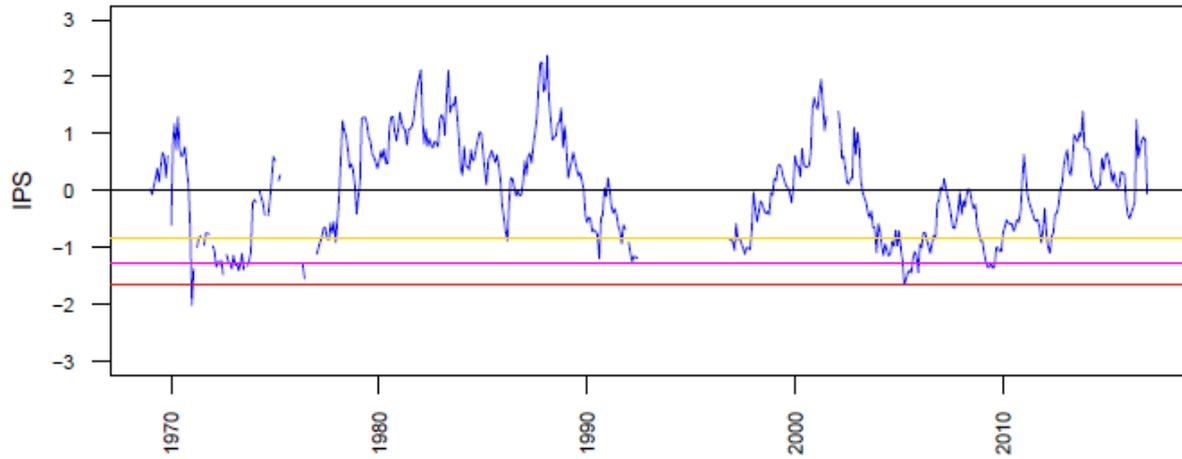
- -1,645 (ligne horizontale rouge), qui correspondrait à du vingtennal sec (valeur non prise en compte dans le BSH) ;
- -1,282 (ligne horizontale mauve), qui correspondrait à du décennal sec ;
- -0,842 (ligne horizontale jaune), qui correspondrait à du quinquennal sec.

Ces 3 valeurs pourraient jouer le rôle respectivement de seuil de crise, de seuil d'alerte renforcée et de seuil d'alerte en se basant sur la définition des seuils faites dans le cadre de la Notice d'orientation (cf. 2.1.7).

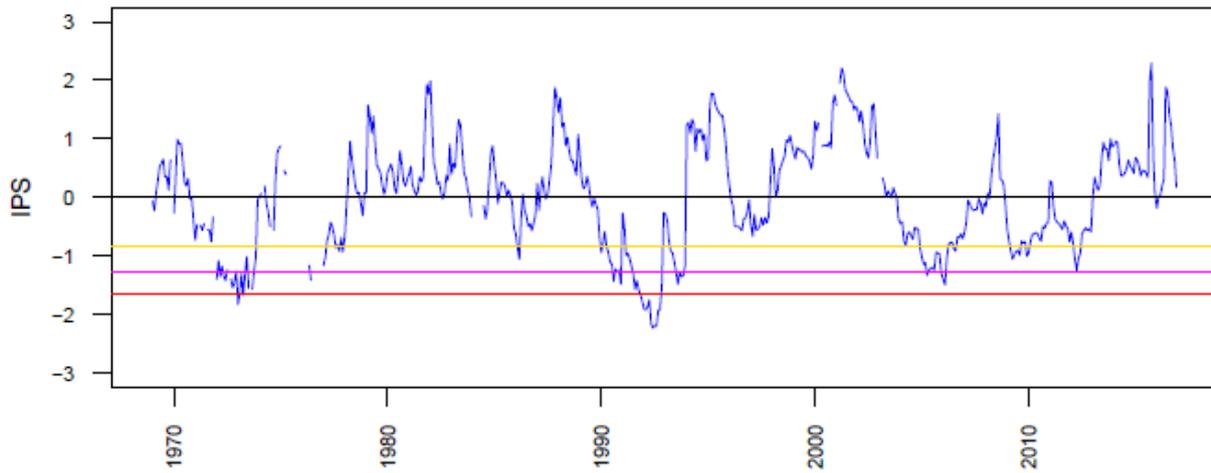
Recommandations

Une fois calculé, l'IPS devient la variable de référence, autonome et support de décision. Revenir à la variable initiale en associant aux 3 seuils de l'IPS ci-dessus 3 valeurs de niveaux ne serait pas pertinent : l'IPS est construit mois par mois et la valeur correspondant à un mois donné résulte d'un traitement effectué sur la série des moyennes mensuelles de ce mois sur l'ensemble de la chronique des niveaux. Les graphiques ci-après résultent donc de la juxtaposition, des valeurs des différents mois. Il s'agit d'une reconstruction présentant les variations de l'IPS d'un mois à l'autre et non d'une évolution au sens strict. Ceci peut représenter un inconvénient dans l'utilisation de l'IPS comme indicateur de suivi sécheresse, car la visibilité du niveau mesuré disparaît. De plus, pour que l'IPS puisse avoir un rôle anticipateur et être adapté à des périodes plus courtes, de 15 jours par exemple, le mode de calcul actuel devrait être revu. Avant de faire le choix de l'IPS, une étude plus poussée doit donc être menée.

Mécringes



Janvilliers



Saulsotte

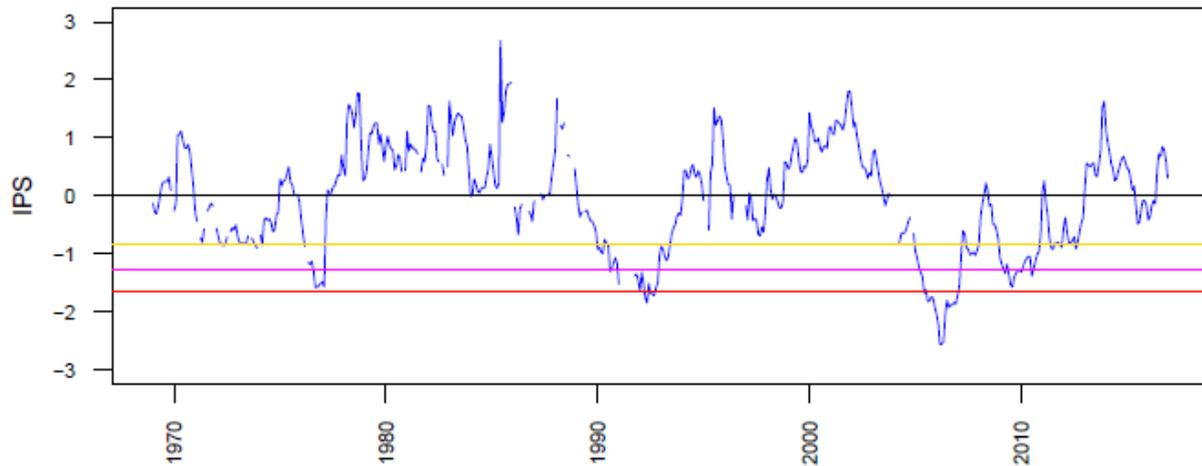
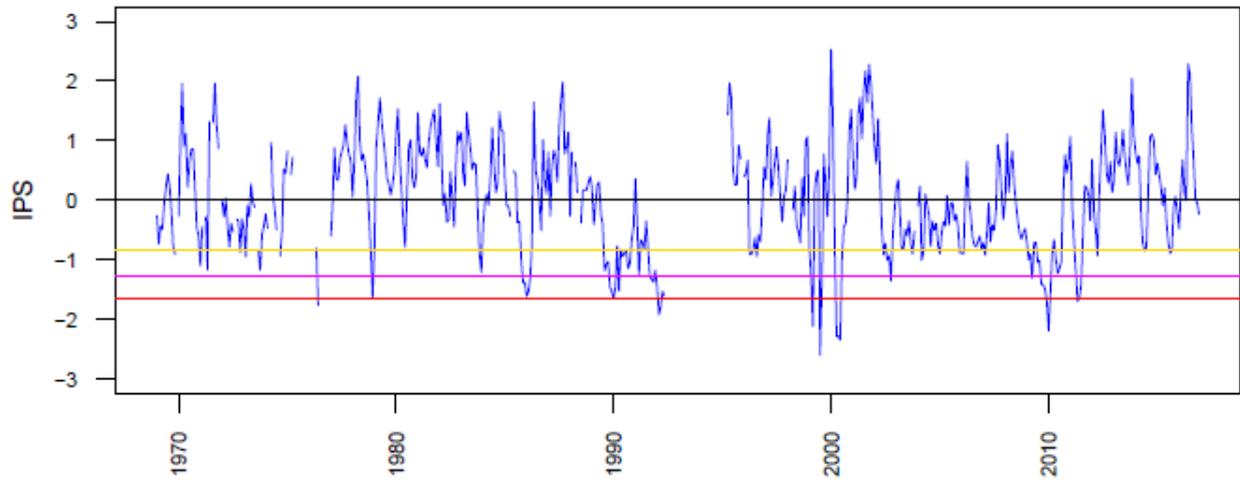
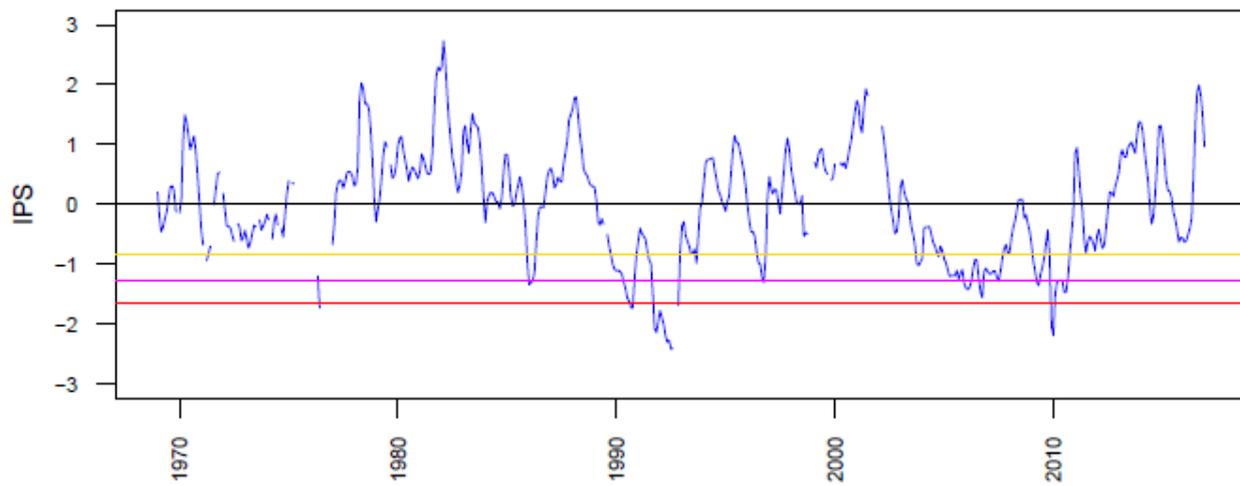


Illustration 80 – Variations de l'IPS et report de seuils : piézomètres de Mécringes, Janvilliers et Saulsotte

Saint-Hilaire



Orvilliers



Villeloup

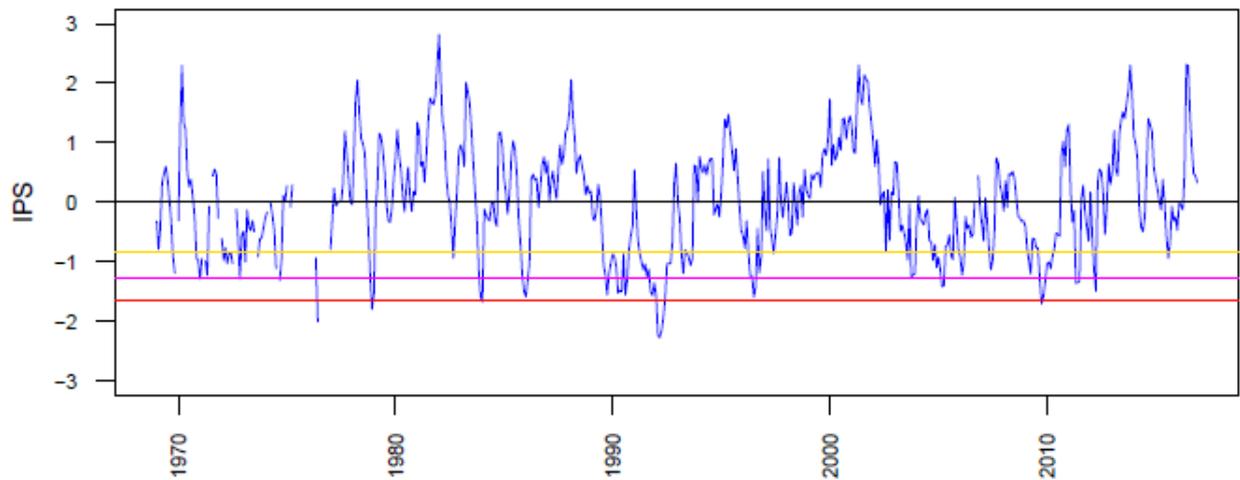
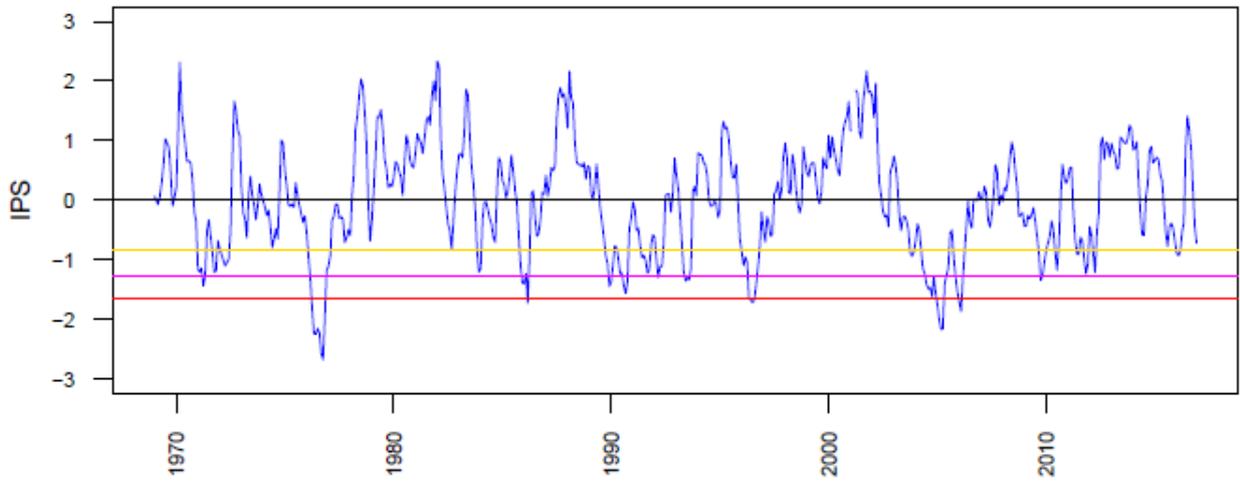
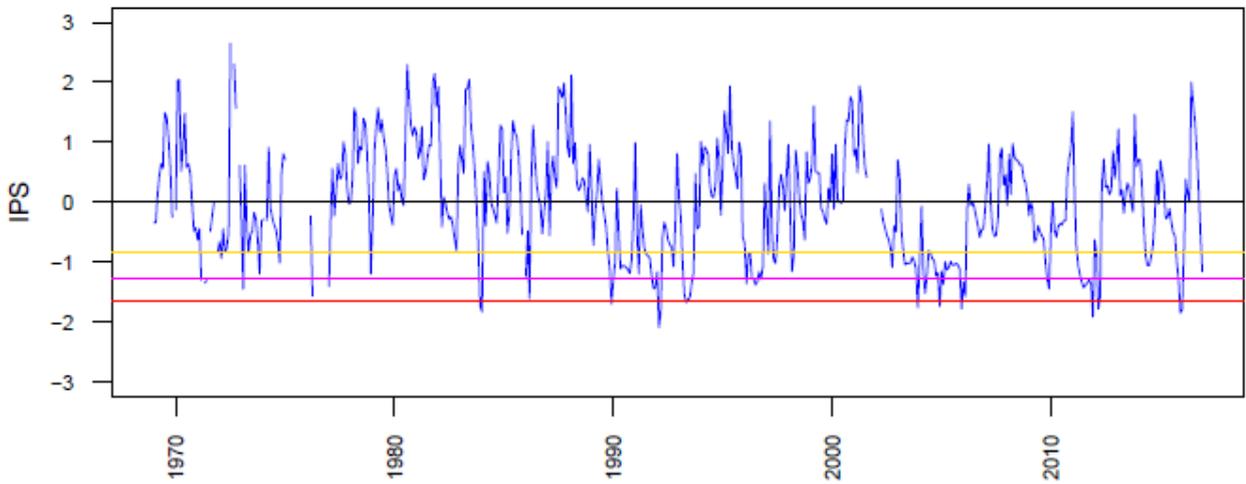


Illustration 81 - Variations de l'IPS et report de seuils : piézomètres de St-Hilaire, Orvilliers et Villeloup

Grandes Loges



Vanault



Sompuis

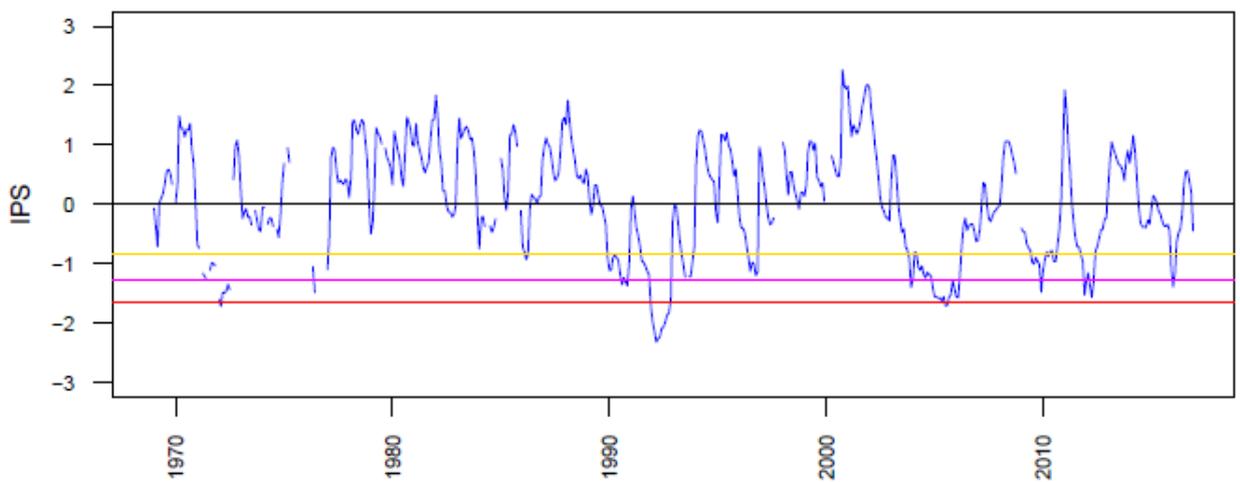


Illustration 82 - Evolution de l'IPS et report de seuils : piézomètres de Grandes Loges, Vanault et Sompuis.

2.4.5. Synthèse

En Champagne-Ardenne, la mise en œuvre du dispositif sécheresse pour les eaux souterraines, repose sur le franchissement de seuils piézométriques fixés mensuellement sur des piézomètres associés à huit unités hydrogéologiques.

A l'échelle du territoire, les prélèvements globaux annuels liés aux besoins AEP et irrigation sont d'environ 130 Mm³, dont 98 % sont prélevés dans les eaux souterraines. La distribution des prélèvements par département est variable, de 15 Mm³/an à 49 Mm³/an. La fraction AEP de ces prélèvements a pu être rapportée aux masses d'eau souterraine afin d'évaluer l'importance de ces prélèvements par délimitation hydrogéologique plutôt que par découpage administratif.

Les données collectées concernant les problèmes quantitatifs rencontrés par les communes du territoire sont trop fragmentaires pour établir un constat global sur la vulnérabilité de la ressource. Mais l'identification des bassins en déséquilibre quantitatif potentiel (BDQP) permet de faire ressortir les secteurs et masses d'eau souterraine où le nombre de ces bassins est important. Les critères d'usage des prélèvements sont pris en compte, puisque l'effort de suivi est fonction de l'importance des volumes prélevés au droit des masses d'eau souterraine.

Les arrêtés sécheresse pris en 2014 et 2015 montrent, après leur application, le retour vers une situation normale, sans qu'il soit toutefois possible d'établir un lien de causalité ou d'évaluer le degré d'efficacité des mesures de restriction des usages, entre la prise des arrêtés et l'amélioration des conditions hydrogéologiques, les éléments d'une telle analyse étant multifactoriel. Par ailleurs, certains épisodes de sécheresse en 2014 et 2015 n'ont pas fait l'objet d'un arrêté malgré le franchissement des seuils d'alerte et la situation des nappes s'est améliorée progressivement.

L'examen des seuils piézométriques utilisés actuellement montrent que leur fixation mensuelle rend leur interprétation difficile. Cet examen révèle de nombreux points faibles : discontinuités de seuils d'un mois à l'autre, valeurs identiques pour des seuils différents (alerte, alerte renforcée) d'un mois au suivant ou faibles différences entre seuils. Ces éléments sont de nature à compliquer l'appréciation de la situation hydrogéologique. De plus, les valeurs des seuils exprimées en termes de périodes de retour n'apparaissent pas toujours pertinentes, les conditions d'application d'une analyse fréquentielle n'étant pas toujours respectées et parfois non appropriées pour des nappes à doubles cycles (pluriannuels et annuels).

L'étude des relations nappe – cours d'eau montre que la plupart des couples piézomètre-station hydrologique présentent une évolution des niveaux et des débits en phase, sans décalage temporel. Pour ces couples, les niveaux de la nappe ne peuvent donc être utilisés pour anticiper les étiages des cours d'eau.

Pour la fixation des seuils, des valeurs annuelles se substitueraient aux valeurs mensuelles actuelles. Différentes solutions sont possibles et ont été testées, en retenant comme valeurs candidates :

- le HMNA5 (équivalent du QMNA5) pour les niveaux, niveau moyen mensuel minimum de période de retour 5 ans (quand le calcul est possible) ;
- la moyenne des niveaux moyens mensuels minimum de chaque année (moyenne des HMNA) ;
- la moyenne des minima relevés chaque année dans la chronique journalière ;
- le minimum absolu (seuil historique) relevé dans la chronique de mesures ou bien le minimum de la série des HMNA (qui en est très proche) ;
- des valeurs significatives de l'indicateur piézométrique standardisé sous condition d'une étude de faisabilité.

3. Lorraine

3.1. ÉTAT DES LIEUX

3.1.1. Cadre réglementaire du dispositif sécheresse

Les seuils concernant les zones d'alerte sont définis par l'arrêté cadre interdépartemental relatif à la mise en place des principes communs de vigilance et de gestion des usages de l'eau dans les bassins versants de la Meuse et de la Moselle du 17 juin 2008. Cet arrêté a pour objet :

- D'une part de mettre en œuvre des mesures coordonnées à l'échelon interdépartemental pour la gestion des étiages dans les bassins versants de la Meuse, de la Moselle et de la Sarre. Deux zones d'alerte, dans lesquelles sont susceptibles d'être prise des mesures de vigilance, de restriction ou d'interdiction provisoire des usages de l'eau, sont définies :
 - Zone d'alerte n°1 : bassin versant de la Meuse
 - Zone d'alerte n°2 : bassins versants de la Moselle et de la Sarre

La délimitation de ces bassins versants est précisée par l'illustration 83 (qui est aussi un exemple de bulletin de l'Indicateur de Suivi Hydrologique).

- D'autre part de fixer les débits-seuils des cours d'eau et les conditions dans lesquelles s'appliqueront des règles de gestion générales, permettant d'anticiper la gestion des étiages prononcés et faire face à la menace ou aux conséquences d'un épisode de sécheresse.

- Situation hydrométrique

Les classes « d'état sécheresse » sont définies comme suit :

- état d'alerte (appelé aussi « vigilance ») : lorsque au moins la moitié des stations hydrométriques de référence sur toute la zone d'alerte du bassin de la Moselle (14 stations) ou de la Meuse (5 stations) ont franchi le seuil d'alerte ;
- état de « crise » : lorsque au moins la moitié des stations hydrométriques de référence sur toute la zone d'alerte du bassin de la Moselle ou de la Meuse ont franchi le seuil de crise ;
- état de « crise renforcée » : lorsque au moins la moitié des stations hydrométriques de référence sur toute la zone d'alerte du bassin de la Moselle ou de la Meuse ont franchi le seuil de crise renforcée.

Les valeurs seuils pour chaque station hydrométrique de référence par bassin versant sont définies ainsi (valeur annuelle) :

- état d'alerte (appelé aussi « vigilance ») : correspond à 110 % du QMNA5 ;
- état de « crise » : correspond à 90 % du QMNA5 ;
- état de « crise renforcée » : correspond au VCN3 sec annuel 1/20.

Une situation parmi les classes « d'état sécheresse » est atteinte s'il est constaté que le débit moyen minimum sur 3 jours consécutifs (VCN3) calculé par semaine est inférieur aux seuils établis (vigilance, crise ou crise renforcée) et si au moins la moitié des stations hydrométriques sont concernées, soit 14 pour le bassin versant de la Moselle et de la Sarre et 5 pour le bassin versant de la Meuse.

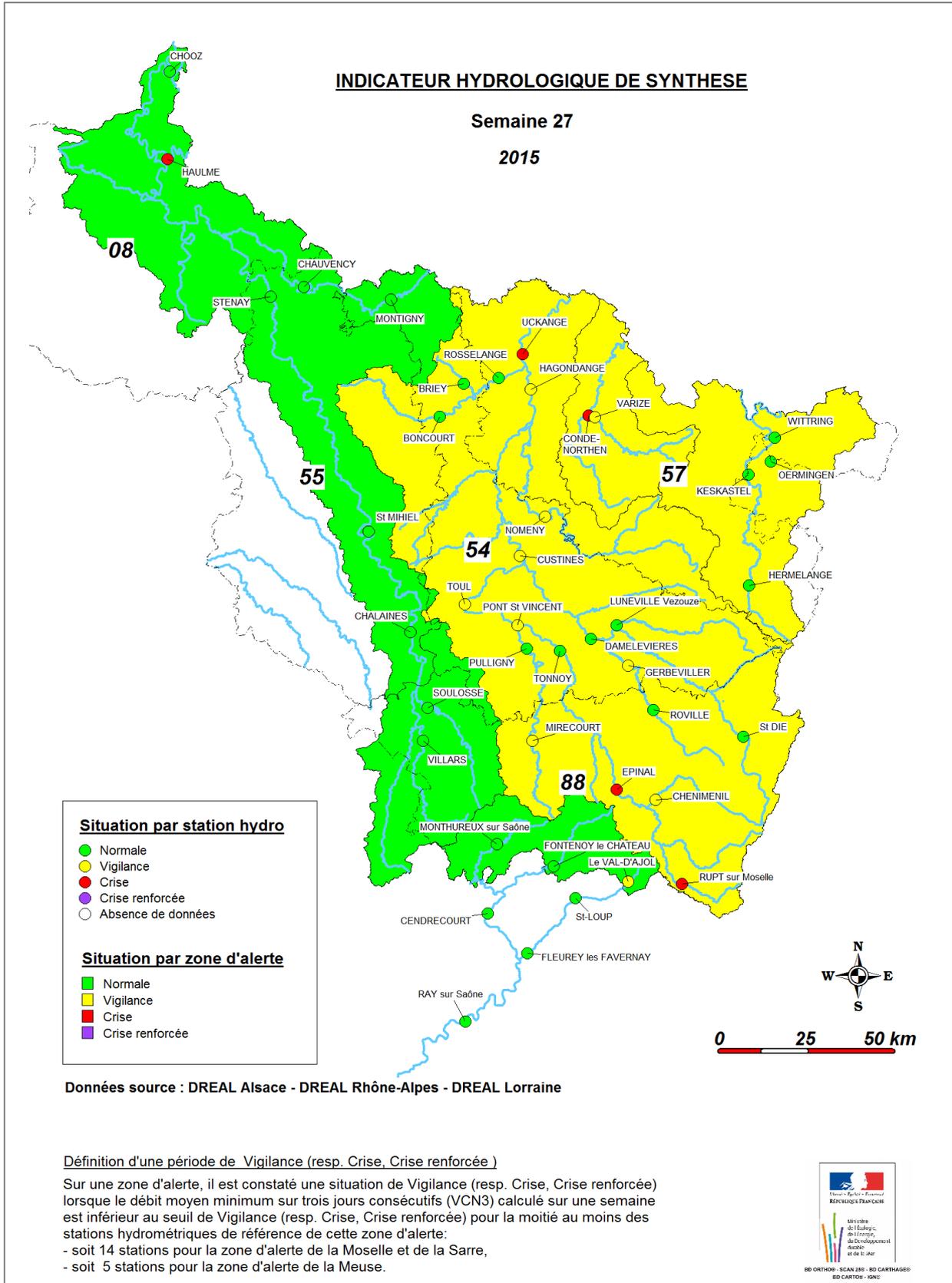


Illustration 83 - Indicateur Hydrologique de Synthèse - Délimitation des zones d'alerte Meuse/Moselle et stations hydrologiques (DREAL)

En termes de règles de gestion, les mesures de restriction qui sont instaurées concernent les prélèvements agricoles pour l'irrigation, les prélèvements domestiques (hors AEP) et les prélèvements industriels opérés dans les cours d'eau et dans la nappe alluviale associée.

- Situation piézométrique

L'article 5 « État de la ressource en eau » de l'arrêté cadre interdépartemental n°2008-207 précise qu'une production d'indicateurs thématiques d'état de la ressource en eau, qui comportent notamment la situation piézométrique, est mise en place au pas de temps bimensuel ou hebdomadaire en fonction du contexte.

Le niveau moyen des nappes calculé sur deux semaines de l'année en cours est comparé à des niveaux de période de retour prédéterminée obtenus pour ces deux mêmes semaines avec les mesures de toutes les années disponibles (ajustement d'une loi normale). En fonction de la comparaison, une note comprise entre 0 et 5 est attribuée à chaque piézomètre, définissant le degré de sévérité de la situation :

- 0 étant la situation la plus défavorable,
- 5 la plus favorable.

Parmi les 31 piézomètres de suivi, représentés sur la carte de l'illustration 84, 22 d'entre eux permettent d'estimer un indicateur global des 8 nappes libres de Lorraine et de la vallée de la Meuse. Cet indicateur global est la moyenne des notes attribuées aux piézomètres de suivi selon la procédure de calcul ci-dessus. Il est calculé pour l'année en cours et il est aussi disponible pour deux années de référence ayant eu un étiage des nappes sévère (2003 et 2011). Ces indicateurs globaux concernent les unités hydrogéologiques suivantes (Illustration 85) :

- la nappe de la Moselle amont à partir des mesures du niveau des nappes sur 3 ouvrages,
- la nappe de la Moselle aval à partir des mesures du niveau des nappes sur 2 ouvrages ;
- la nappe des calcaires du Dogger à partir des mesures du niveau des nappes sur 3 ouvrages,
- la nappe des calcaires du Tithonien à partir des mesures du niveau des nappes sur 3 ouvrages,
- la nappe des calcaires de l'Oxfordien à partir des mesures du niveau des nappes sur 4 ouvrages,
- la nappe des GTI affleurante à partir des mesures du niveau des nappes sur 2 ouvrages,
- la nappe du plateau Lorrain à partir des mesures du niveau des nappes sur 2 ouvrages,
- la nappe du socle Vosgien à partir des mesures du niveau des nappes sur 3 ouvrages.

Ces indicateurs ne sont pas utilisés pour le franchissement de seuils, ceux-ci n'étant définis que pour les cours d'eau dans les zones d'alerte Meuse et Moselle/Sarre. Mais ils sont pris en compte dans l'appréciation globale de la situation hydrologique.

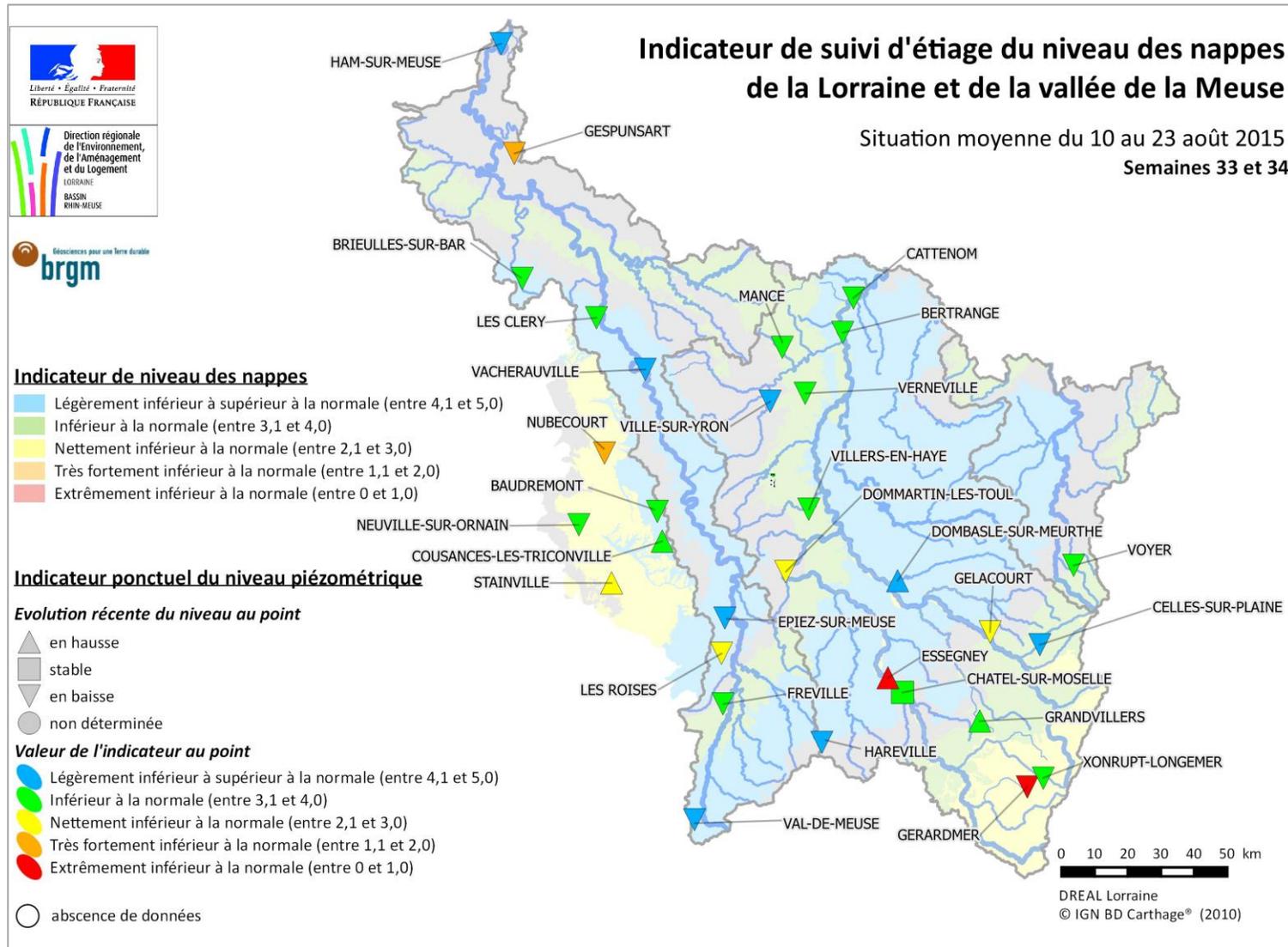


Illustration 84 - Piézomètres de suivi des nappes en Lorraine et vallée de la Meuse (Source DREAL Lorraine)

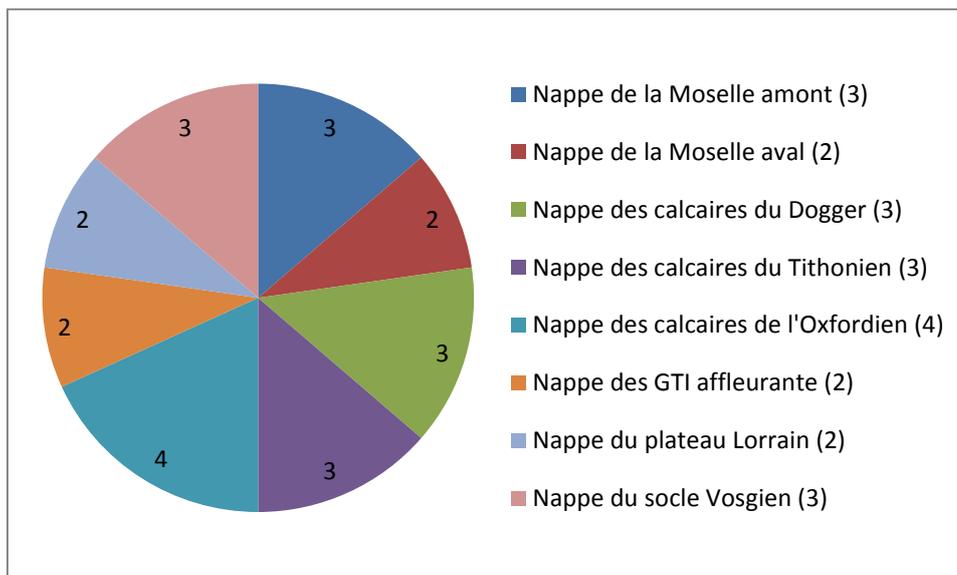


Illustration 85 - Distribution du nombre de piézomètres utilisés par nappe pour l'établissement d'indicateurs globaux

Les chroniques piézométriques de ces ouvrages ont été analysées d'un point de vue statistique afin de diagnostiquer si elles peuvent se prêter ou non à une analyse probabiliste (§ 3.2.2.). Par ailleurs, l'utilisation de piézomètres captant les nappes alluviales des cours d'eau peut représenter un intérêt pour renforcer le dispositif de suivi débitmétrique. Pour s'en assurer, les données de quelques couples piézomètres-stations hydrométriques ont été mises en relation pour tenter de dégager des corrélations significatives (§ 3.2.1.). Les nappes d'accompagnement ont été identifiées à l'aide de BDLISA niveau 1.

3.1.2. Problèmes survenus pour l'AEP

Pour la région Lorraine, l'ARS dresse, selon les années, les bilans des indicateurs sécheresse AEP collectés auprès des délégations territoriales de l'ARS. Cette collecte permet d'identifier les collectivités et populations concernées par des situations de tensions liées à la sécheresse, connues par les DTARS, en rupture d'alimentation (alimentations par citerne) ou en « crainte de rupture ». Les données des années 2011, 2014 et 2015 sont disponibles pour les 4 départements de la région.

D'après cette collecte, l'approvisionnement par camion-citerne a été mis en œuvre pour les années suivantes :

- en 2011, 2 communes de la Moselle et 3 des Vosges, représentant 1683 habitants ;
- en 2015, 1 commune des Vosges et 2 communes de la Moselle, représentant 1955 habitants.

Les données réunies, trop fragmentaires, ne permettent pas d'établir une analyse significative de l'état de la vulnérabilité de la ressource en eau potable.

Toutefois, d'après l'étude sur l'« *État de la vulnérabilité de la ressource en eau potable sur la région Lorraine suite à la sécheresse 2003* » (DREAL Lorraine, décembre 2003), un état des lieux sur la vulnérabilité de la ressource en Lorraine a été établi.

Cet état des lieux dresse la liste des communes classées selon 3 typologies en fonction de la vulnérabilité d'un aquifère capté pour l'AEP en tenant compte du régime des précipitations. Les nappes vulnérables ou les parties affleurantes des aquifères qui sont exposées à la sécheresse sont les suivantes :

- calcaires karstifiés du Tithonien, de l'Oxfordien (Côtes de Meuse), du Dogger (Côtes de Moselle hors exploitation ferrifère) – partie ouest de la région Lorraine ;
- grès du Rhétien ;
- calcaires du Muschelkalk ;
- formations fracturées du socle (Est du département des Vosges).

L'étude décrit la situation département par département en 2003, et précise que la Moselle ne présente pas de situation critique, une grande partie du département étant alimentée par la nappe des grès du Trias, sous couverture, peu sensible aux variations annuelles de précipitation.

Le département des Vosges est celui qui a connu le plus grand nombre de difficultés, avec 39 collectivités classées en situation critique durant l'été 2003. Cette situation est expliquée par le grand nombre de sources utilisées pour l'eau eau potable (Illustration 86) et du déficit pluviométrique accru durant la période estivale.

Dans la Meuse les situations de manque d'eau sont apparues progressivement et plus tardivement que dans les autres départements de la région.

Les types de captages qui apparaissent très majoritairement touchés sont les sources sur les trois départements (Meurthe-et-Moselle, Meuse et Vosges).

En Meuse, 17 ouvrages en difficulté sur 32 captent les calcaires de l'Oxfordien du Bassin parisien.

Dans le département des Vosges, 20 captages touchés par la sécheresse sur 56 sont alimentés par les nappes du socle granitique.

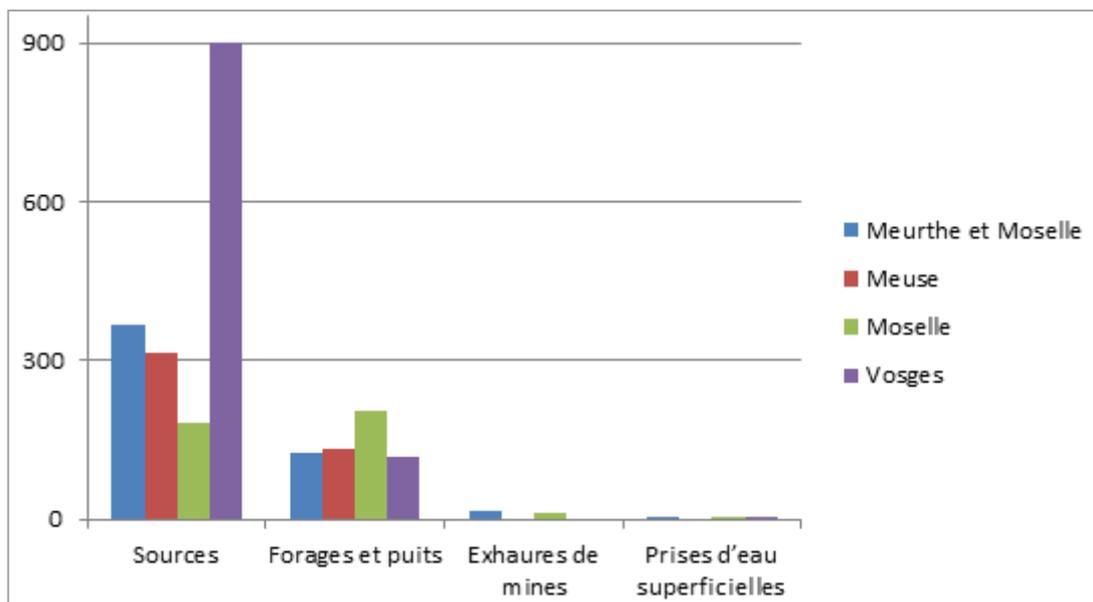


Illustration 86 - Répartition des points d'eau par département en 2003

L'étude dresse une liste de communes classées selon 3 typologies, sur la base de critères de vulnérabilité aux risques de rupture de la production des ressources en eau potable, liée à des conditions climatiques de sécheresse. Ces critères sont relatifs à :

- la ressource par unité de distribution et sa sensibilité en distinguant les sources, des forages ;
- l'hydrogéologie ;
- les interconnexions permettant un secours véritable (ressource pérenne, débit suffisant).

Le résultat final prend la forme d'une carte de vulnérabilité par commune.

Suite à ce premier bilan, l'étude indique qu'il est difficile de tirer des conclusions plus claires sur la vulnérabilité des autres aquifères, la dispersion des résultats ne permettant pas d'établir une hiérarchie de sensibilité à la sécheresse.

3.1.3. Pression sur les eaux souterraines

Les données chargées depuis la BNPE à fin 2016, permettent d'évaluer les volumes prélevés totaux en Lorraine pour les usages AEP (et domestique) et industriel, eaux souterraines et eaux de surface confondues, pour les deux années 2012 et 2013 (les années ultérieures sont incomplètes).

Ces volumes sont de l'ordre de 336 Mm³ en 2012 et 326 Mm³ en 2013. La distribution des prélèvements par département est hétérogène comme en témoigne l'illustration 87. Les données de l'année 2013 sont comparables à celles de l'année 2012.

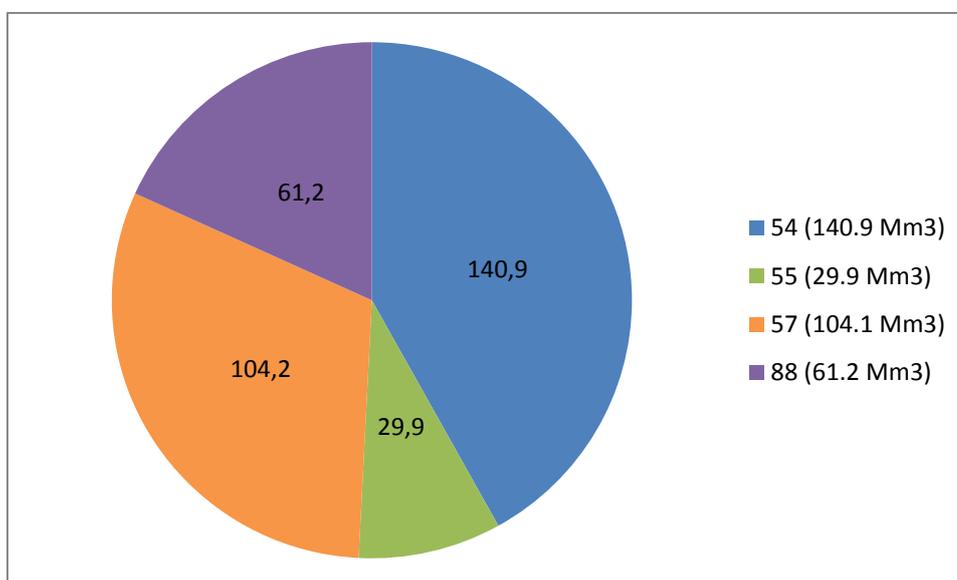


Illustration 87 - Prélèvements (Mm³) en Lorraine, par département, eaux souterraines et eaux de surface, AEP et industriel, en 2012

Tous usages confondus, les prélèvements se font majoritairement dans les eaux souterraines (62,5 %) et secondairement (37,5 %) dans les eaux de surface (Illustration 88).

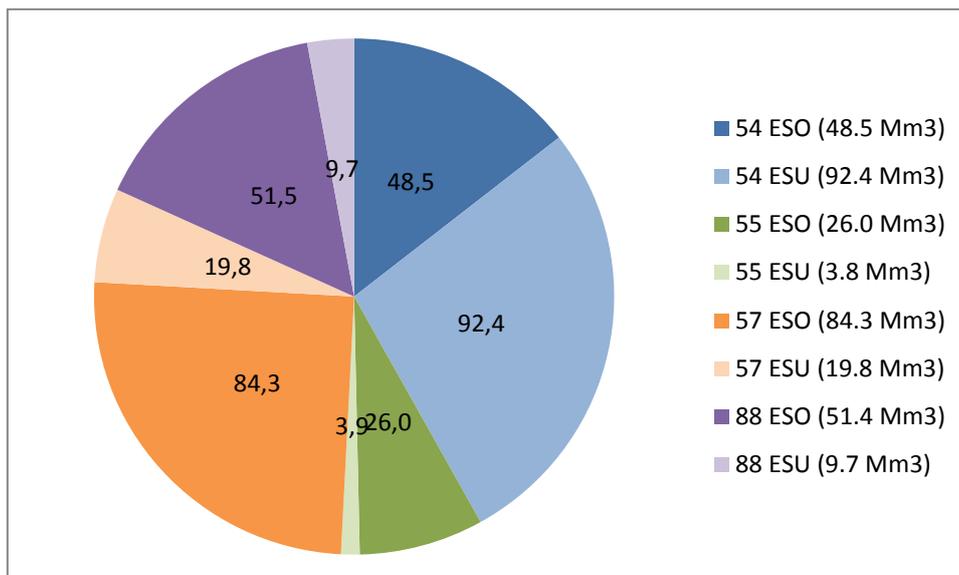


Illustration 88 - Prélèvements (Mm3) en Lorraine, par département, eaux souterraines (ESO : couleur foncée) et eaux de surface (ESU : couleur claire), AEP et industriel, en 2012

Le département de la Meuse fait exception, puisque 2/3 des volumes sont prélevés dans les ESU et 1/3 dans les ESO.

Concernant la fraction des prélèvements dans les eaux souterraines (210 Mm3 sur les 336 Mm3 prélevés), l'illustration 89 différencie la part des prélèvements liés aux usages AEP majoritaires (155 Mm3) et industriels (55.5 Mm3).

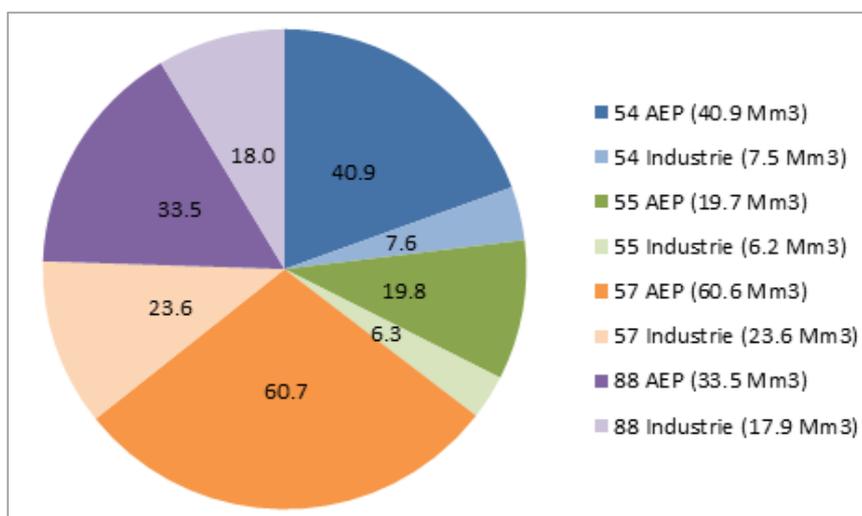


Illustration 89 - Prélèvements (Mm3) en Lorraine, par département, eaux souterraines, AEP (couleur foncée) et industriel (couleur claire), en 2012

Évaluation des prélèvements attribués par masse d'eau souterraine

De la même manière que pour la Champagne-Ardenne, les prélèvements ont été évalués par masse d'eau souterraine en Lorraine (cf. § 2.1.2 faisant référence aux sources de données utilisées pour cette évaluation par masse d'eau souterraine).

L'illustration 90 présente la distribution des prélèvements en Lorraine par masse d'eau souterraine, usage AEP et domestique. En 2013, seuls les prélèvements supérieurs à 1 Mm3 figurent dans l'illustration (12 masses d'eau souterraine ont des prélèvements inférieurs à 1 Mm3).

Le total des prélèvements est de 206,7 Mm3 (dont 23,9 Mm3 n'ont pu être affectés à une masse d'eau souterraine), ce qui est très proche de l'évaluation obtenue via la BNPE la même année (208,3 Mm3).

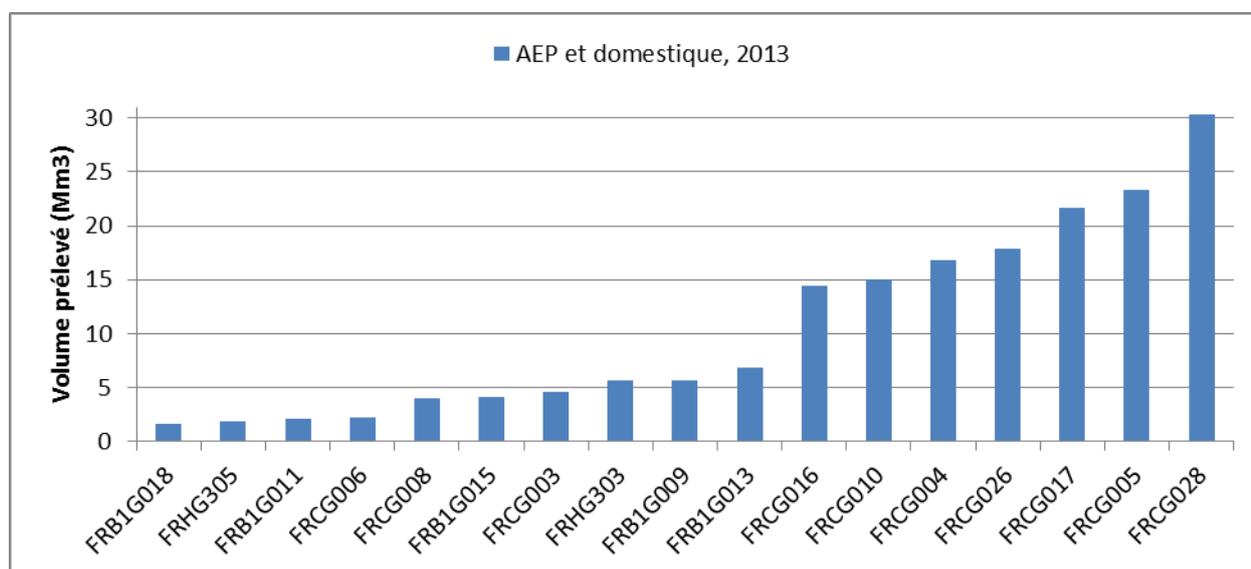


Illustration 90 - Volumes prélevés par masse d'eau souterraine pour l'usage AEP et domestique en 2013

L'affectation des volumes prélevés aux masses d'eau souterraine est indiquée dans le Tableau 24, par ordre de volume prélevé croissant. Les nappes les plus sollicitées (volumes prélevés supérieurs 14 Mm3) figurent en rouge. Une part importante de ces prélèvements relève de nappes d'accompagnement, telles que : les alluvions de la Moselle en aval/en amont de la confluence avec la Meurthe, les alluvions de la Meuse, de la Chiers et de la Bar.

3.1.4. Secteurs à problèmes de déficit quantitatif

Par ailleurs, les informations ci-dessus ont été croisées avec les indicateurs hydrologiques de synthèse (données source : SNS-DIREN RMC-DIREN Lorraine). Tous les bulletins des indicateurs hydrologiques entre 2009 et 2015 ont été consultés, soit 117 bulletins (un bulletin par semaine) afin d'identifier les stations hydrologiques en état récurrent de sécheresse (franchissement de seuils de vigilance, crise et crise renforcée). 44 stations sont suivies en tant qu'indicateur hydrologique. Leur répartition par bassin hydrologique, allant de 4 pour la Sarre jusqu'à 22 pour la Moselle – Nied est indiquée par l'illustration 91. L'illustration 92 présente leur distribution par secteur, de 4 (Sarre et Meuse amont) à 9 (Moselle aval).

Code masse d'eau	Nom	Volume prélevé (Mm3)
B1G018	Grès du Lias inférieur d'Hettange Luxembourg	1,6
HG305	Calcaires Kimméridgien-oxfordien karstique nord-est du district (entre Ornain et limite de district)	1,9
B1G011	Calcaires du Dogger du plateau de Haye	2,1
CG006	Calcaires du Muschelkalk	2,3
CG008	Plateau lorrain versant Rhin	4,0
B1G015	Alluvions de la Meuse, de la Chiers, et de la Bar	4,1
CG003	Socle vosgien	4,6
HG303	Calcaires Tithonien karstique entre Seine et Ornain	5,6
B1G009	Calcaires du Dogger des côtes de Meuse ardennaises	5,7
B1G013	Calcaires Oxfordiens	6,9
CG016	Alluvions de la Moselle en aval de la confluence avec la Meurthe	14,4
CG010	Calcaires du Dogger des côtes de Moselle	15,1
CG004	Grès vosgien en partie libre	16,8
CG026	Réservoir minier - Bassin ferrifère lorrain	17,9
CG017	Alluvions de la Meurthe et de la Moselle en amont de la confluence avec la Meurthe	21,7
CG005	Grès vosgien captif non minéralisé	23,4
CG028	Grès du Trias inférieur du bassin houiller	30,3

Tableau 24 - Prélèvements en Lorraine, par masse d'eau souterraine, usage AEP et domestique, en 2013

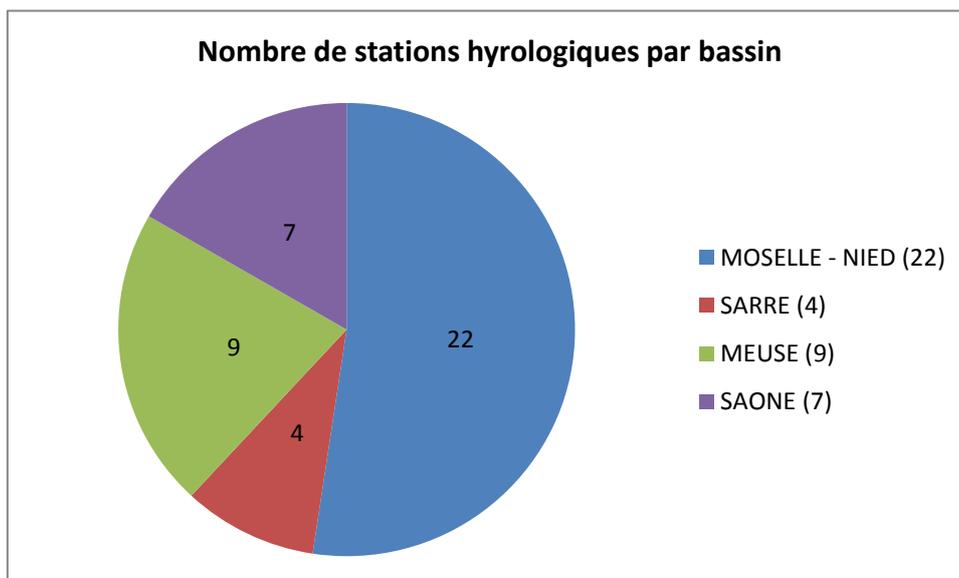


Illustration 91 - Répartition des stations hydrologiques par bassin hydrologique

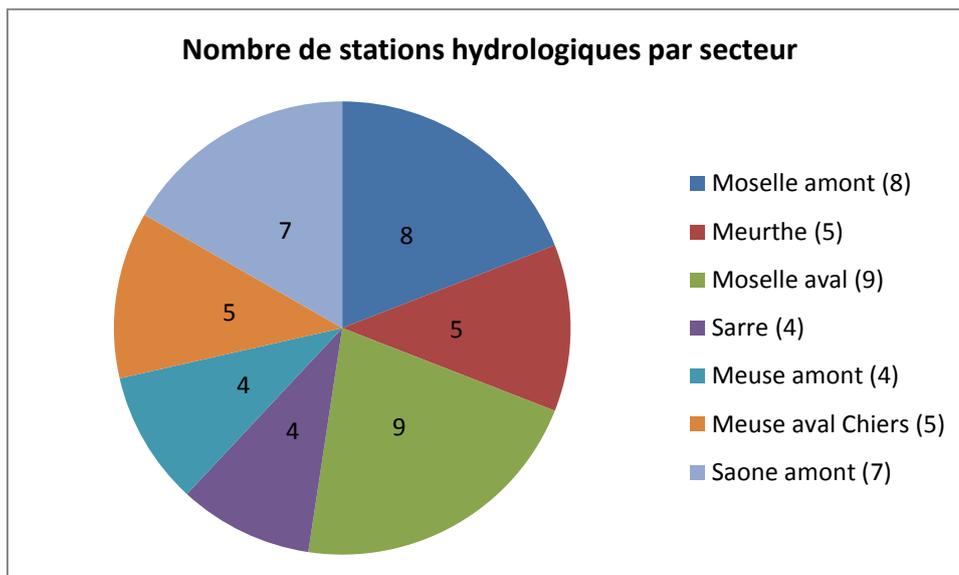


Illustration 92 - Répartition des stations hydrologiques par secteur

L'illustration 93 présente de façon globale, le nombre de semaines par an où les seuils sont franchis (toutes stations hydrologiques confondues). Il est à noter que les années 2009, 2011 et 2015 font ressortir les situations hydrologiques les plus défavorables (entre 300 et 500 seuils franchis sur l'ensemble des stations). Les années 2012, 2013 et 2014 sont les moins impactées en termes de nombre de seuils franchis, totalisant moins de 67 semaines.

Selon les années et la sévérité des épisodes de sécheresse, le suivi des indicateurs hydrologiques varie : en 2013, 10 semaines à partir de mars, en 2011 jusqu'à 34 semaines à partir d'avril.

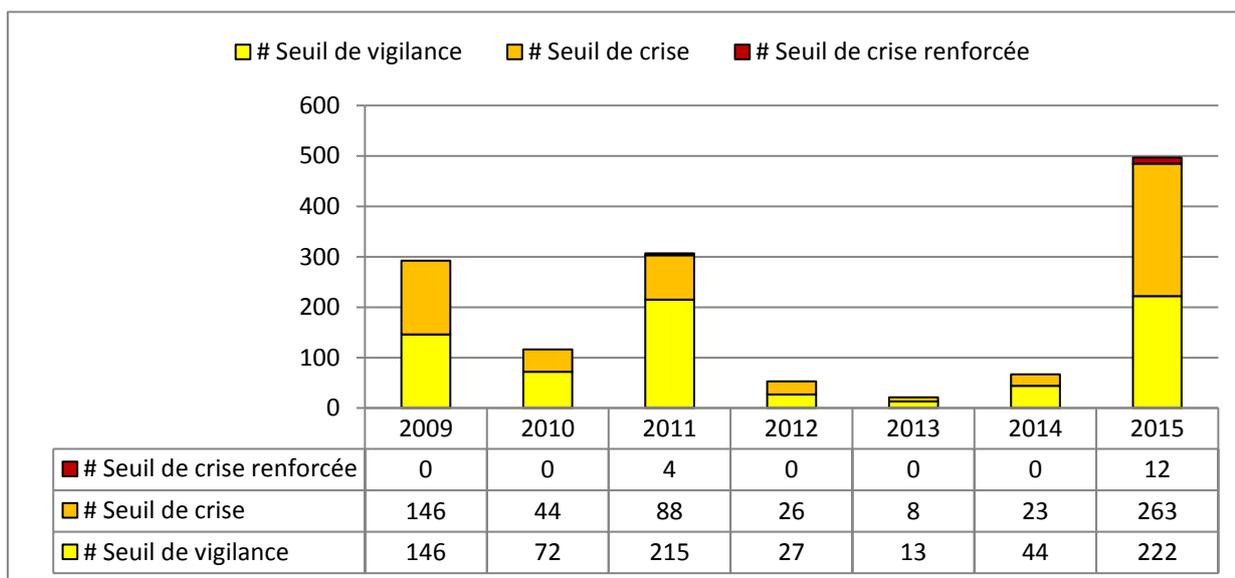


Illustration 93 - Nombre de semaines (toutes stations confondues) en état de vigilance, de crise ou de crise renforcée, entre 2009 et 2015

En 2015, les stations en vigilance, crise et crise renforcée ont été les plus nombreuses, de mai à novembre. L'illustration 94 montre la répartition par station hydrologique (35 sur 44), du cumul des semaines où les seuils sont franchis (sur 44 les stations, 7 ne présentent pas de dépassement de seuil en 2015).

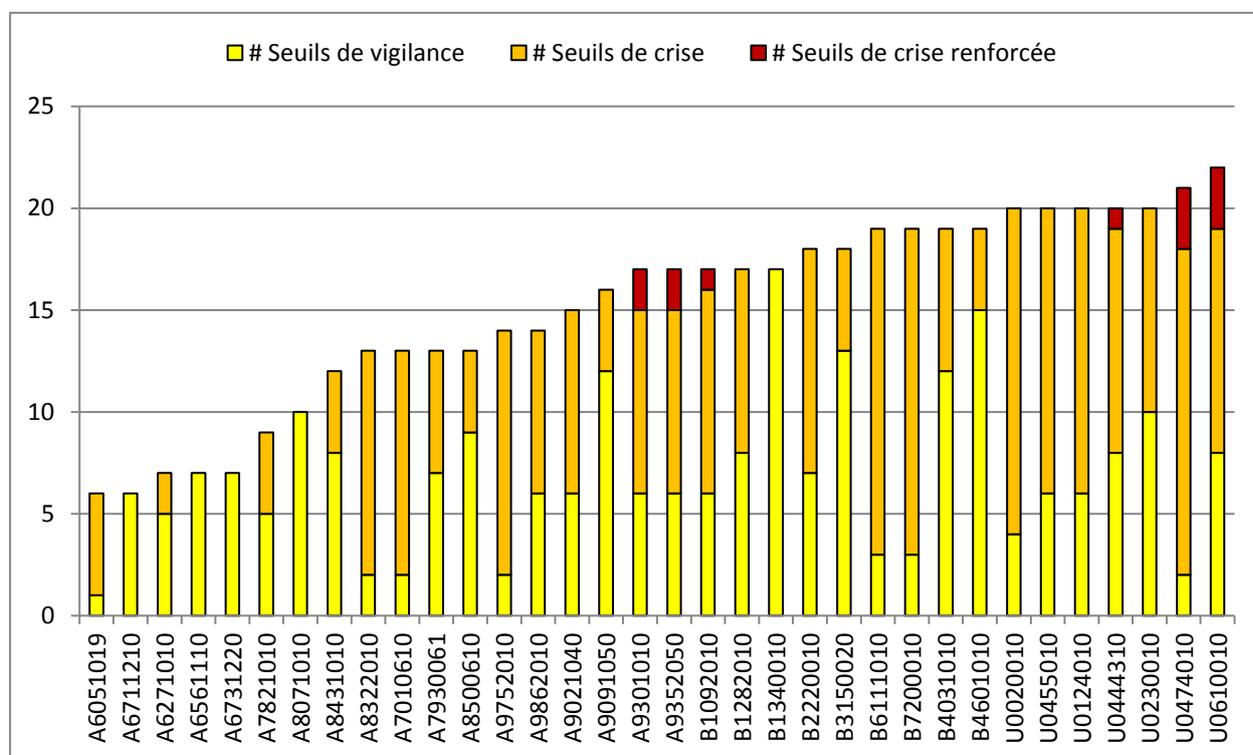


Illustration 94 - Nombre de semaines en alerte, crise ou crise renforcée, par station hydrologique, pour l'année 2015

Afin de réaliser une première évaluation des relations nappe – rivière au droit des stations où les seuils sont franchis régulièrement, on a considéré les stations cumulant plus de 10 semaines d'état de sécheresse (seuils de vigilance, crise ou renforcée). Pour chacune de ces stations on a identifié via la BD LISA (niveau 1), sa nappe d'accompagnement et s'il existe un piézomètre avec des données de suivi des eaux souterraines via ADES. Le résultat de cette recherche est présenté au § 3.1.5. Il est suivi d'une analyse corrélatoire (corrélogramme croisé niveau – débit) sur quelques couples piézomètre – station hydrologique.

L'illustration 95 regroupe les stations hydrologiques du graphique de l'illustration 94 par bassin hydrologique. Il en ressort les zones où les indicateurs hydrologiques présentent de nombreuses occurrences d'état de sécheresse, telle que la Moselle - Nied (Moselle amont, Meurthe, Moselle aval : regroupant 22 stations), la Sarre (4 stations), la Meuse (Meuse amont et Meuse aval Chiers : 9 stations) et la Saône amont (7 stations).

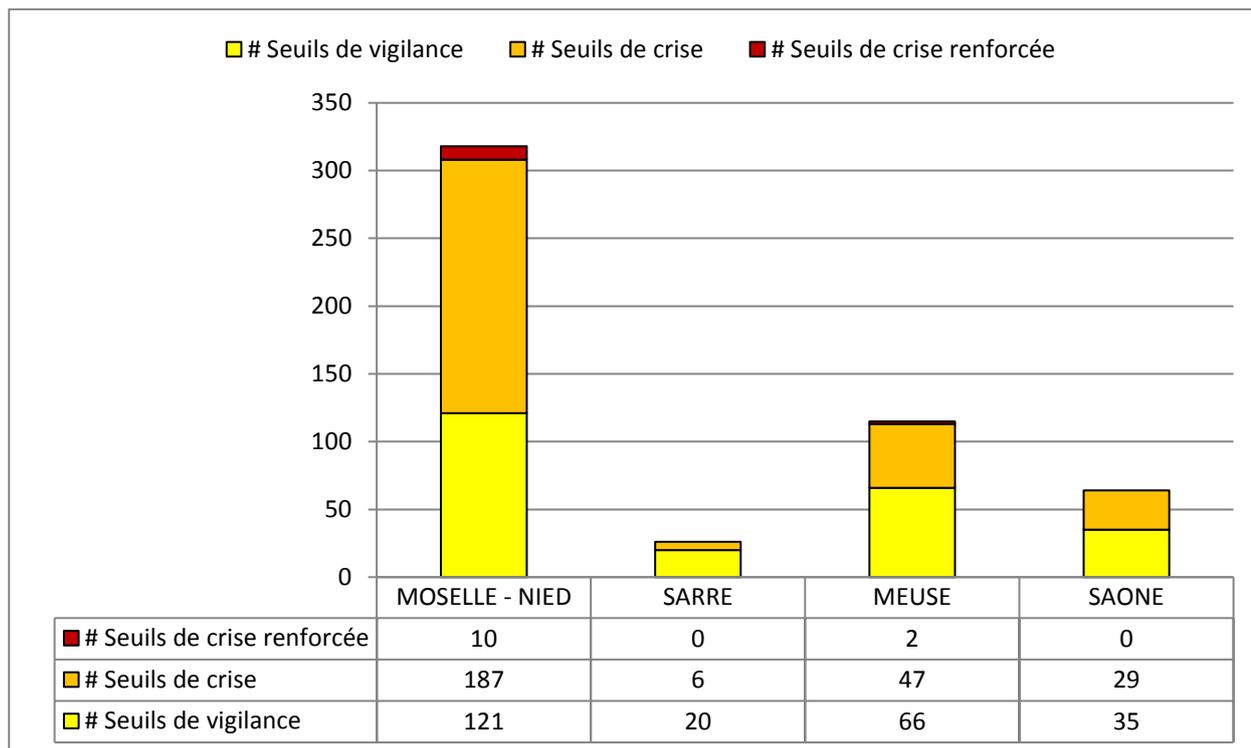


Illustration 95 - Nombre de semaines en vigilance, crise ou crise renforcée, par bassin hydrographique en 2015

L'illustration 96 détaille l'illustration 95 par secteur. On retrouve le cumul des semaines selon les différents seuils sur l'ensemble des stations hydrologiques. Les secteurs de la Moselle amont et de la Moselle aval sont ceux où le nombre de semaines en franchissement de seuils est le plus important (respectivement 156 et 109). Les autres secteurs cumulent entre 57 et 68 semaines avec franchissement de seuils.

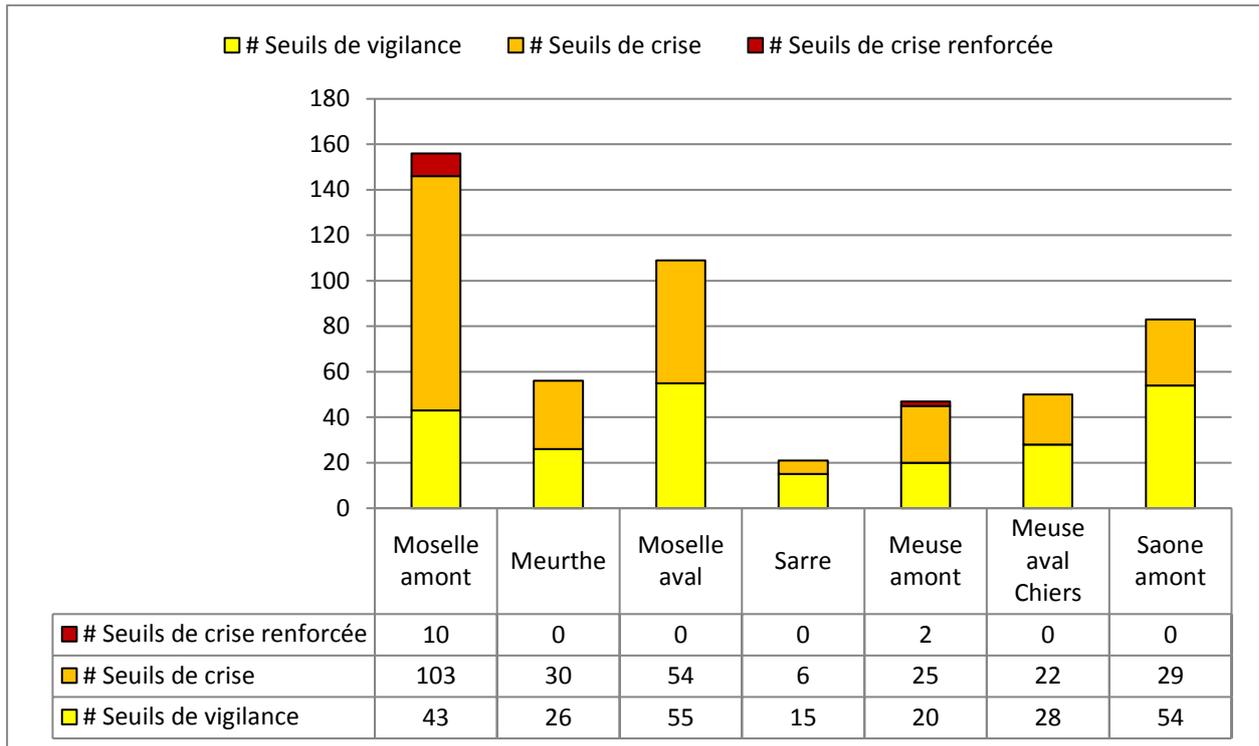


Illustration 96 - Nombre de semaines en vigilance, crise ou crise renforcée par secteur en 2015

L'illustration 97 montre que la distribution du nombre de seuils franchis est géographiquement hétérogène selon les années. Toutefois, la Sarre et la Saône amont (hors secteur de la présente étude) présentent, en proportion, moins de situations en état de vigilance, de crise et de crise renforcée.

L'illustration 98 présente la synthèse du nombre de franchissements de seuils, par station hydrologique et par année. Les couleurs chaudes correspondent aux stations cumulant le plus de seuils franchis. Les années 2009, 2011 et 2015 ressortent particulièrement, traduisant ces épisodes de sécheresse.

Au droit des stations hydrologiques en état de sécheresse récurrent, les niveaux des nappes d'accompagnement peuvent être en situation de baisse lors de ces épisodes. Le § 3.2.1 met en relation quelques stations hydrologiques et suivis piézométriques afin d'identifier la nature des échanges nappe/rivière.

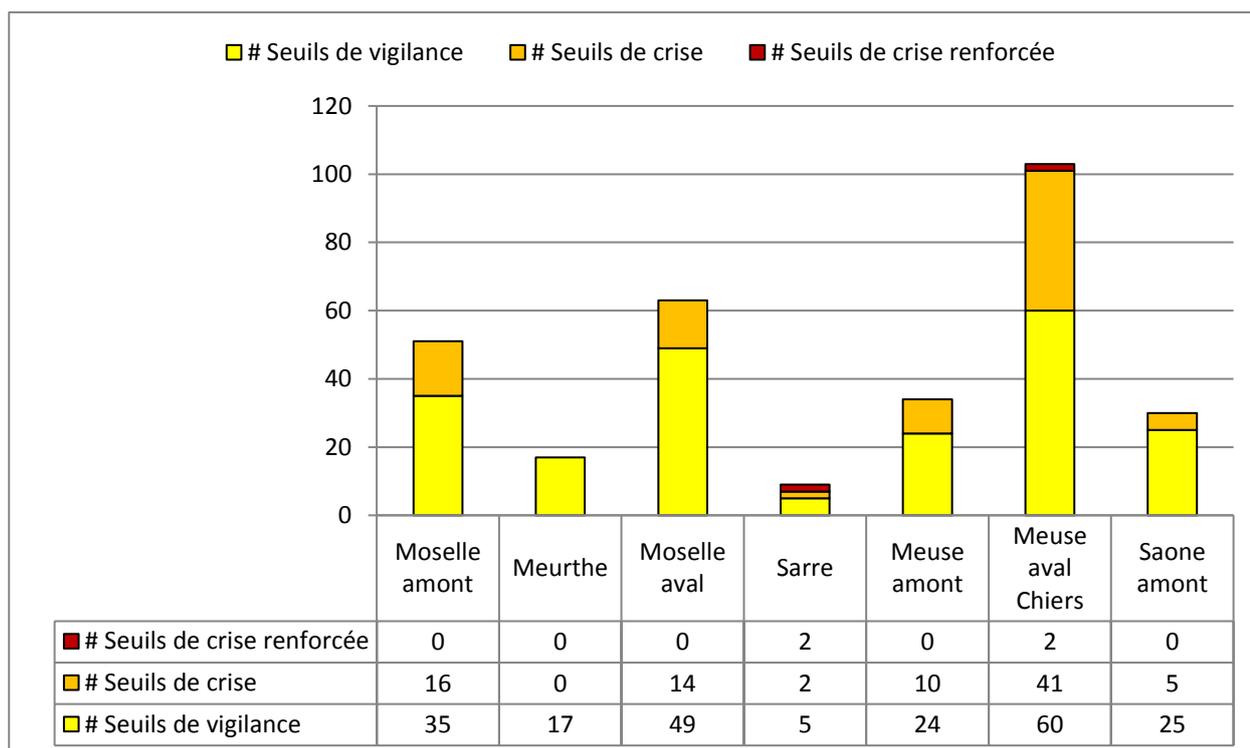
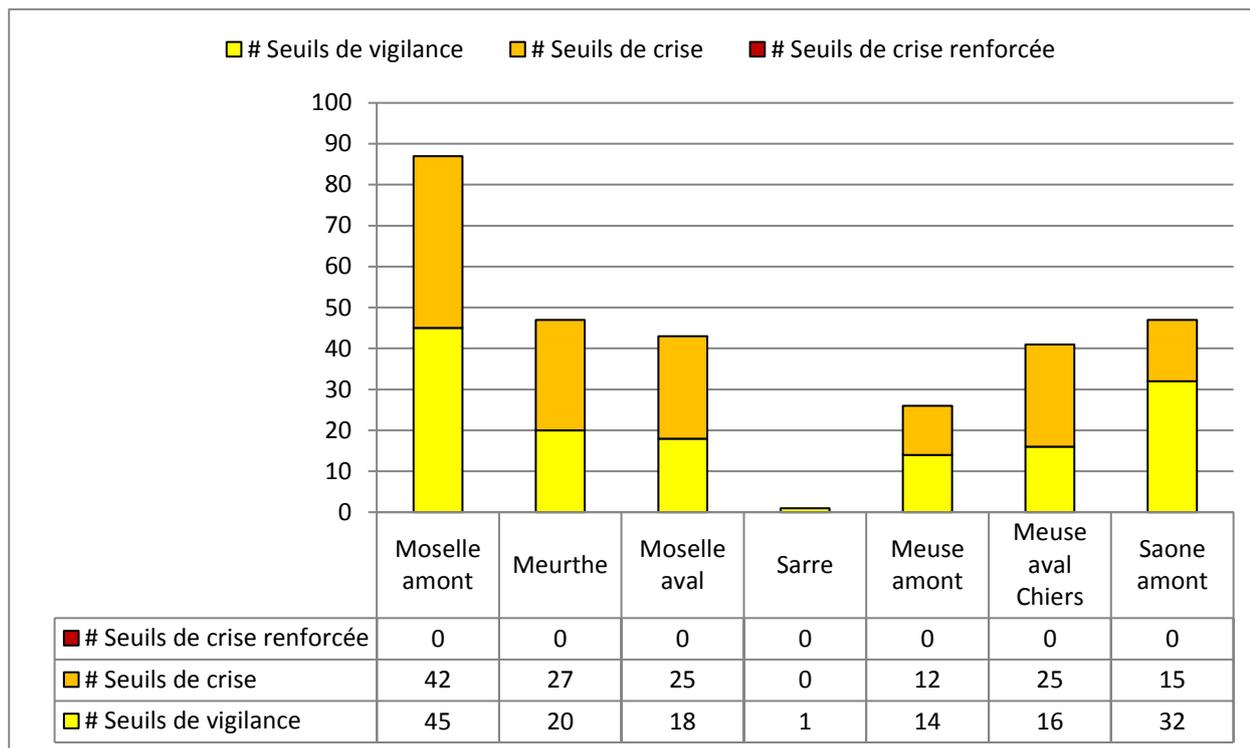


Illustration 97 - Nombre de semaines en vigilance, crise ou crise renforcée par secteur en 2009 (en haut) et 2011 (en bas)

Réseau hydrographique	Code station hydrométrique	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	Total
La Mortagne (affluent de La Meurthe)	A6711210	7	0	8	1	2	0	17	35
La Mortagne (affluent de La Meurthe)	A6731220	13	4	0	0	0	0	20	37
La Meurthe	A6051019	12	4	7	2	0	3	18	46
La Meuse	B7200010	6	2	17	0	0	0	10	35
Le Vair (affluent de La Meuse)	B1282010	7	6	8	4	0	3	17	45
La Meuse	B3150020	12	2	19	1	0	3	17	54
La Meuse	B1340010	11	3	14	2	0	7	19	56
La Chiers (affluent de La Meuse)	B4031010	12	0	22	0	0	3	19	56
La Semoy (affluent de La Meuse)	B6111010	11	5	25	0	1	2	13	57
La Moselle	A7930061							13	13
La seille (affluent de La Moselle)	A7821010	0	1	1	3	0	5	13	23
Le Madon (affluent de La Moselle)	A5261010	8	0	0	2	0	0	22	32
La Moselle	A7010610	8	3	6	2	1	3	19	42
La Moselle	A4050620	8	6	6	2	3	1	17	43
La Moselle	A4250640	11	6	3	0	3	1	20	44
La Moselle	A5500610	12	4	4	1	0	3	20	44
La Moselle	A5110610	11	5	7	0	1	2	19	45
La Moselle	A5730610	12	5	6	1	0	1	20	45
Le Madon (affluent de La Moselle)	A5431010	14	4	14	3	0	3	17	55
La Vologne (affluent de La Moselle)	A4362030	11	4	11	3	4	2	21	56
La Moselle	A8500610	12	6	12	3	1	4	20	58
La Nied	A9862010	6	0	8	2	0	2	15	33
La Nied	A9752010	0	6	15	1	0	4	13	39
Total par année :		204	76	213	33	16	52	399	

Illustration 98 - Stations hydrologiques en état de sécheresse récurrent

3.1.5. Nappes alluviales

Les nappes alluviales ont été identifiées au droit des stations hydrologiques utilisées en tant qu'indicateurs hydrologiques de synthèse. Cette recherche s'est focalisée sur les stations hydrologiques régulièrement en état de sécheresse (cf. chapitre précédent).

Le Tableau 25 indique dans les colonnes « BD Lisa niveau 1 » et « Masse d'eau DCE » les nappes alluviales identifiées au droit des stations hydrologiques. Pour un certain nombre de stations, la nappe d'accompagnement correspond à l'entité hydrogéologique alluviale du cours d'eau, pour d'autres, comme le Vair, la Chiers (affluents de la Meuse) il s'agit du grand système multicouche du Jurassique moyen (Dogger) ou pour le Madon (affluent de la Moselle) et la Nied du grand système multicouche du Trias.

Les indicateurs sécheresse en région Grand Est : analyse et propositions

Réseau hydrographique	Code station hydrométrique	Localisation station	BD Lisa (niveau 1)	Masse d'eau DCE
La Mortagne (affluent de La Meurthe)	A6711210	Roville	Alluvions de la vallée de la Meurthe	Alluvions de la Meurthe et de la Moselle en amont de la confluence avec la Meurthe
La Mortagne (affluent de La Meurthe)	A6731220	Gerbéviller	Alluvions de la vallée de la Meurthe	Alluvions de la Meurthe et de la Moselle en amont de la confluence avec la Meurthe
La Meurthe	A6051019	Saint-Dié	Alluvions de la vallée de la Meurthe	Alluvions de la Meurthe et de la Moselle en amont de la confluence avec la Meurthe
La Meuse	B7200010	Chooz	Alluvions de la vallée de la Meuse	Alluvions de la Meuse, de la Chiers, et de la Bar
Le Vair (affluent de La Meuse)	B1282010	Soulosse	Grand système multicouche du Jurassique moyen (Dogger) du Bassin Parisien et de ses bordures	Calcaires du Dogger du plateau de Haye
La Meuse	B3150020	Stenay	Alluvions de la vallée de la Meuse	Alluvions de la Meuse, de la Chiers, et de la Bar
La Meuse	B1340010	Chalaines	Alluvions de la vallée de la Meuse	Alluvions de la Meuse, de la Chiers, et de la Bar
La Chiers (affluent de La Meuse)	B4031010	Montigny/Chiers	Grand système multicouche du Jurassique moyen (Dogger) du Bassin Parisien et de ses bordures	Calcaires du Dogger des côtes de Meuse ardennaises
La Semoy (affluent de La Meuse)	B6111010	Haulmé	Alluvions de la vallée de la Meuse	Socle ardennais
La Moselle	A7930061	Hagondange	Alluvions fluviales récentes à actuelles de la Moselle sur Argiles du Lias	Alluvions de la Moselle en aval de la confluence avec la Meurthe
La seille (affluent de La Moselle)	A7821010	Nomény	Grand système multicouche du Trias du bassin Parisien et de ses bordures	Plateau lorrain versant Rhin
Le Madon (affluent de La Moselle)	A5261010	Mirecourt	Grand système multicouche du Trias du bassin Parisien et de ses bordures	Plateau lorrain versant Rhin
La Moselle	A7010610	Custines	Alluvions de la vallée de la Moselle	Alluvions de la Moselle en aval de la confluence avec la Meurthe
La Moselle	A4050620	Rupt sur Moselle	Alluvions de la vallée de la Moselle	Alluvions de la Meurthe et de la Moselle en amont de la confluence avec la Meurthe
La Moselle	A4250640	Epinal	Alluvions de la vallée de la Moselle	Alluvions de la Meurthe et de la Moselle en amont de la confluence avec la Meurthe
La Moselle	A5500610	Pont-Saint-Vincent	Alluvions de la vallée de la Moselle	Alluvions de la Meurthe et de la Moselle en amont de la confluence avec la Meurthe
La Moselle	A5110610	Tonnoy	Alluvions de la vallée de la Moselle	Alluvions de la Meurthe et de la Moselle en amont de la confluence avec la Meurthe
La Moselle	A5730610	Toul	Alluvions de la vallée de la Moselle	Alluvions de la Meurthe et de la Moselle en amont de la confluence avec la Meurthe
Le Madon (affluent de La Moselle)	A5431010	Pulligny	Alluvions de la vallée de la Moselle	Plateau lorrain versant Rhin
La Vologne (affluent de La Moselle)	A4362030	Cheniménil	Alluvions de la vallée de la Moselle	Alluvions de la Meurthe et de la Moselle en amont de la confluence avec la Meurthe
La Moselle	A8500610	Uckange	Alluvions fluviales récentes à actuelles de la Moselle sur Argiles du Lias	Alluvions de la Moselle en aval de la confluence avec la Meurthe
La Nied	A9862010	Varize	Grand système multicouche du Trias du bassin Parisien et de ses bordures	Plateau lorrain versant Rhin
La Nied	A9752010	Condé-Northen	Grand système multicouche du Trias du bassin Parisien et de ses bordures	Plateau lorrain versant Rhin

Tableau 25 - Identification des nappes en connexion avec les stations hydrologiques fréquemment en état de sécheresse

3.1.6. Arrêtés sécheresse et mesures de restriction

Les arrêtés de restriction pour la région Lorraine, recueillis sur Propluvia et les sites des préfectures, sont synthétisés pour l'année 2015, dans le Tableau 26.

n° Département	Département	Niveau	N° de l'arrêté	Du	Au	Nombre de zones
54	Meurthe-et-Moselle	Alerte	DDT-NBP-2015-023	31 juillet 2015	15 août 2015	
54	Meurthe-et-Moselle	Alerte	DDT-NBP-2015-024	14 août 2015	31 août 2015	
54	Meurthe-et-Moselle	Alerte	DDT-NBP-2015-025	1 septembre 2015	30 septembre 2015	3
55	Meuse	Alerte	2015-4922	16 juillet 2015	18 août 2015	1
55	Meuse	Alerte	2015-4934	24 juillet 2015	31 octobre 2015	1
55	Meuse	Alerte renforcée	2015-4948	19 août 2015	31 octobre 2015	1
57	Moselle	Alerte	DDT/SABE-PE n°32	4 août 2015	31 août 2015	3
57	Moselle	Alerte	DDT/SABE/EAU n°38	1 septembre 2015	30 septembre 2015	3
88	Vosges	Alerte	419/2015	17 juillet 2015	1 août 2015	5
88	Vosges	Alerte	440/2015	2 août 2015	15 août 2015	4
88	Vosges	Alerte	456/2015	16 août 2015	1 septembre 2015	4
88	Vosges	Alerte renforcée	468/2015	2 septembre 2015	1 octobre 2015	4

Tableau 26 - Synthèse des arrêtés pris en Lorraine en 2015

D'après les indicateurs hydrologiques de synthèse en 2015 (Données source : DREAL Alsace, DREAL Rhône-Alpes, DREAL Lorraine), en Meurthe-et-Moselle la situation des 5 stations hydrologiques caractérisant l'état de la Meurthe se dégrade à partir du 22 juillet : 1 station est en vigilance, puis la semaine suivante 2 stations en vigilance, enfin en état de crise du 26 août jusque fin novembre. La situation administrative passe de la vigilance à l'état de crise. Un premier arrêté est pris du 31 juillet au 15 août, prolongé à deux reprises, jusqu'au 30 septembre en l'absence d'amélioration et du retour à la normale des débits. La situation revient à la normale à partir de fin novembre.

Dans la Meuse, les 9 stations hydrologiques qui surveillent le régime des secteurs Meuse amont et Meuse aval Chiers présentent une situation administrative en état de vigilance dès la semaine du 15 juillet. 5 des 9 stations sont en état de vigilance (dont une en état de crise). La situation passe en état de vigilance, de crise, et enfin en vigilance jusque fin novembre avant de retrouver un état normal. Ces observations amènent la prise d'un arrêté du 16 juillet au 18 août, ce dernier est prolongé jusqu'au 31 octobre puis remplacé par un nouvel arrêté qualifiant l'état de crise et davantage de restrictions.

Pour la Moselle, suivie par les secteurs amont et aval, la situation hydrologique est défavorable dès la semaine du 8 juillet, des seuils de vigilance, de crise et de crise renforcée sont atteints rapidement. La situation est de nouveau normale à partir de fin novembre. Un arrêté (vigilance) est pris début août pour faire face à ces baisses de débit, celui-ci est prolongé jusqu'au 30 septembre.

Enfin, dans les Vosges, les cours d'eau alimentant la Moselle et la Meurthe présentent au travers des stations hydrologiques des seuils de vigilance, d'alerte et de crise simultanés à l'évolution des seuils au droit de la Meurthe et la Moselle. Un arrêté (vigilance) est pris dès le 17 juillet, prolongé à deux reprises jusqu'au 1^{er} septembre avant de passer en état d'alerte renforcée.

Comme dans le cas de la Champagne-Ardenne sur le niveau des nappes, l'évaluation de l'impact des restrictions mises en œuvre sur l'évolution du régime hydrologique des cours d'eau et le retour à une situation normale est complexe à évaluer étant donnée sa dépendance à de nombreuses autres variables. Les mesures de restriction permettent de manière collective de limiter les prélèvements en eau et réserver son usage aux besoins primordiaux (AEP, notamment), évitant une situation encore plus défavorable. L'évaluation des prélèvements non satisfaits pour ces périodes ne sont pas connus ce qui rend difficile l'appréciation des mesures de restriction.

3.2. RECHERCHE D'ÉLÉMENTS COMPLÉMENTAIRES POUR RENFORCER LE RÉSEAU DE SUIVI

3.2.1. Relations nappe – rivière (prise en compte du réseau hydrographique)

L'illustration 99 localise les stations hydrométriques et les piézomètres du réseau de suivi sécheresse.

Cinq stations hydrologiques ont été choisies (au moins une par cours d'eau) parmi les stations régulièrement en vigilance. Les piézomètres associés à ces stations sont des ouvrages de suivi de la nappe d'accompagnement ou bien de la nappe sous-jacente (« indirectement » connectée).

Comme pour la Champagne-Ardenne, l'analyse des relations nappe – rivière repose sur :

- la mise en relation des variations de niveaux et de débits ;
Le calcul du corrélogramme croisé niveaux – débits
- la relation entre les niveaux mensuels d'un mois donné (printemps) et le débit moyen mensuel d'un autre mois (automne). Cette relation est testée pour plusieurs combinaisons de mois ;
- la mise en relation QMNA et HMNA.

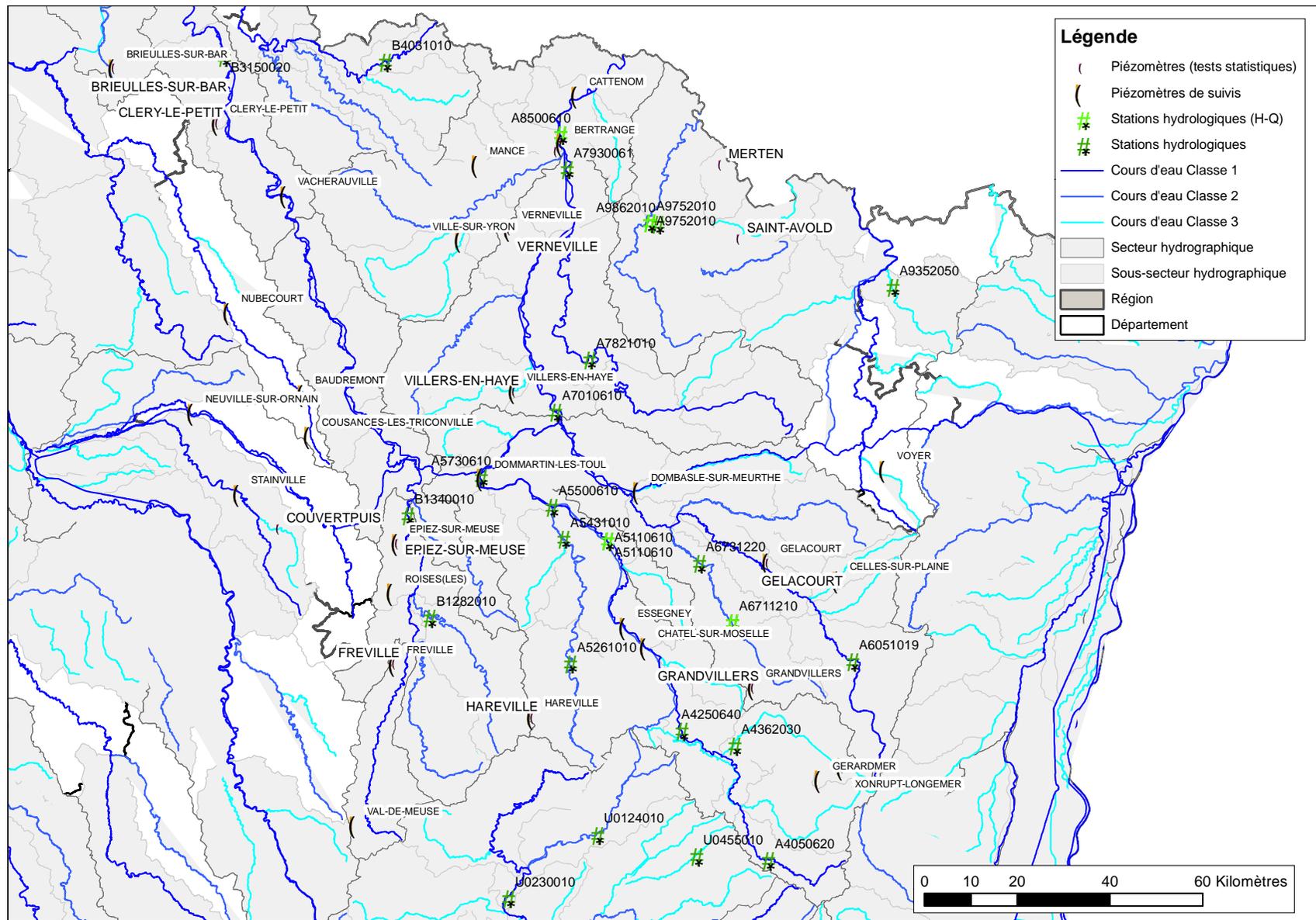


Illustration 99 – Stations hydrométriques et piézomètres suivis en Lorraine

- **La Moselle**

La station de La Moselle à Tonnoy (A5110610) est située au droit des alluvions de la vallée de la Moselle et a été associée au piézomètre 02682X0095 à Tonnoy captant les alluvions de la Meurthe et de la Moselle en amont de la confluence avec la Meurthe. Il est distant de la station hydrométrique de 2,7 km (Le piézomètre 02682X0078, à la même distance que le piézomètre 02682X0095, n'a pas été retenu car la chronique de mesures présente une lacune de 7 ans sur la période 2000-2009). L'évolution des débits à la station A5110610 et des niveaux au piézomètre de Tonnoy est présentée par l'illustration 100. Les variations débits-niveaux apparaissent nettement synchrones.

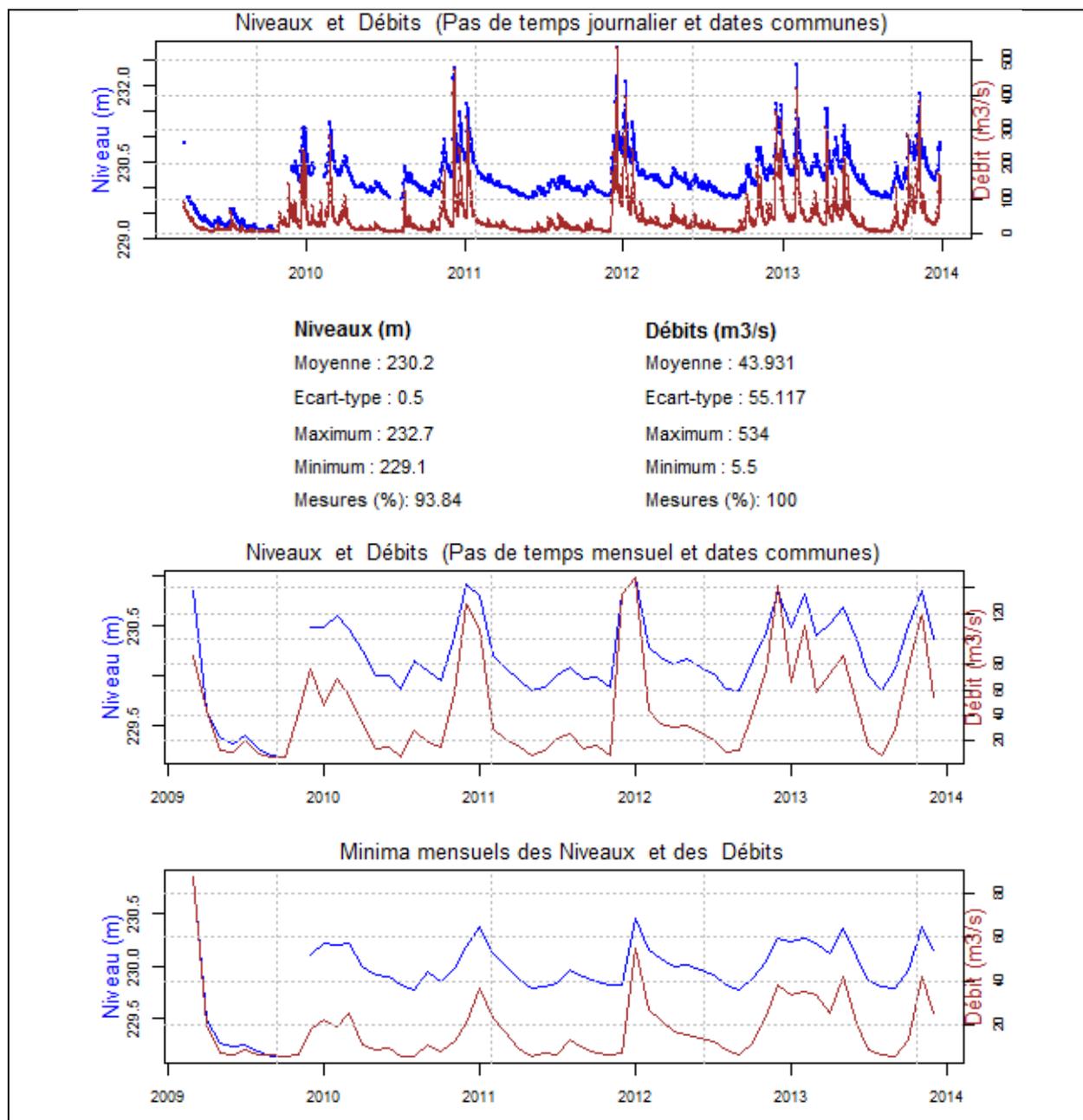


Illustration 100 - Comparaison des niveaux (02682X0095) et débits (A5110610) aux pas de temps journalier et mensuel (le report des valeurs se fait aux dates communes de mesures, ainsi que les calculs statistiques).

Les corrélogrammes croisés aux pas de temps mensuel et journalier (Illustration 101) confirment l'étroite relation niveaux-débits mise en évidence par l'illustration précédente. Ils traduisent l'absence de décalage temporel entre les deux variables.

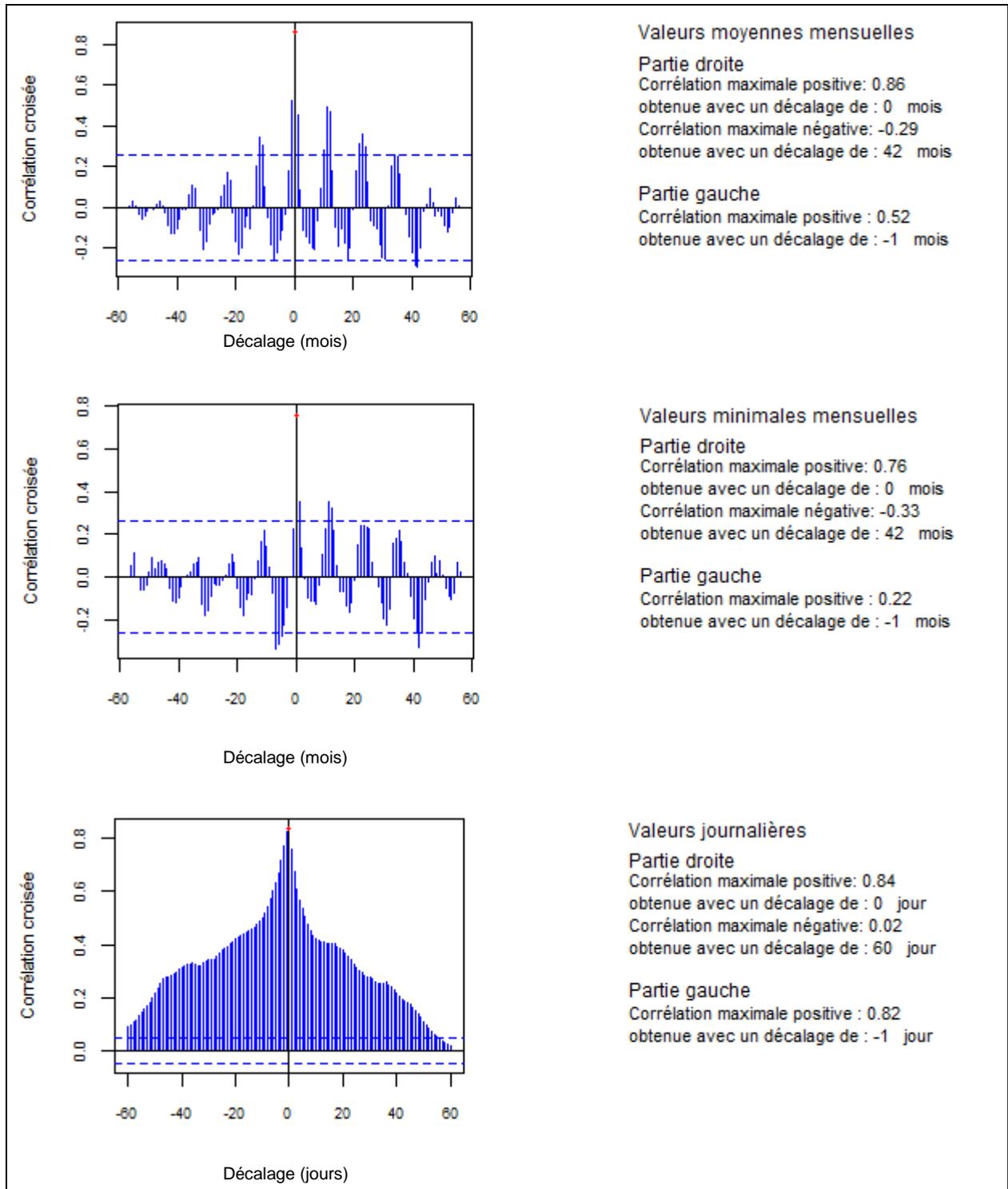


Illustration 101 - Corrélogrammes croisés niveau (02682X0095) – débit (A5110610)

- **La Moselle**

La station de la Moselle à Uckange (A8500610) est située au droit des alluvions fluviales récentes à actuelles de la Moselle sur Argiles du Lias ; elle a été associée au piézomètre 01381X0070 à Bertrange captant les Alluvions de la Moselle en aval de la confluence avec la Meurthe (distant de 2.2 km de la station). L'évolution des débits et des niveaux est présentée par l'illustration 102. Les variations débits-niveaux apparaissent ici aussi nettement synchrones (aux dates communes, ainsi que les statistiques).

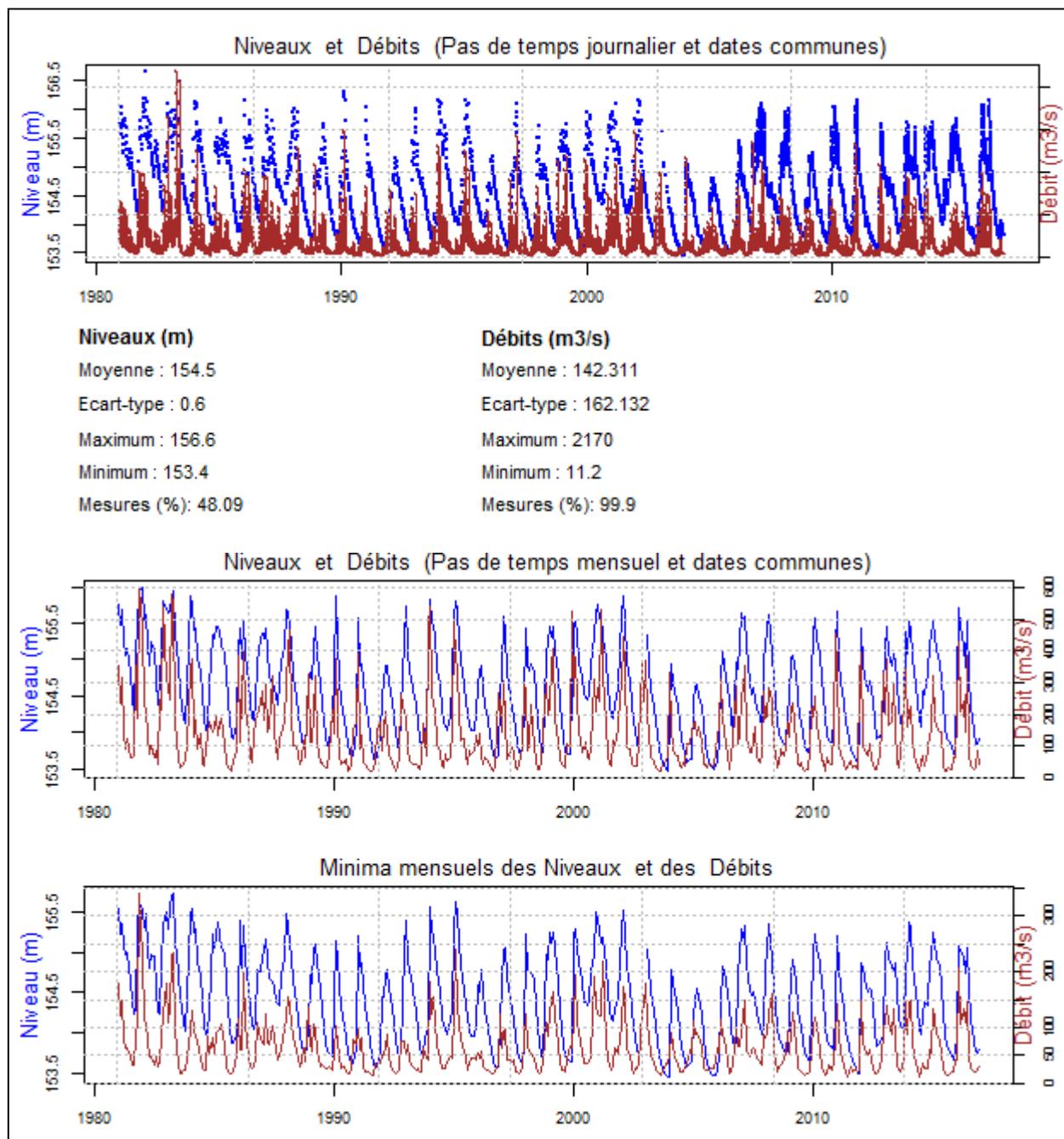


Illustration 102 - Comparaison des niveaux (01381X0070) et débits (A8500610) aux pas de temps journalier et mensuel

Les corrélogrammes croisés aux pas de temps mensuel et journalier (Illustration 103) confirment l'étroite relation niveaux-débits mise en évidence par l'illustration précédente. Ils montrent nettement l'absence de décalage temporel entre les deux variables.

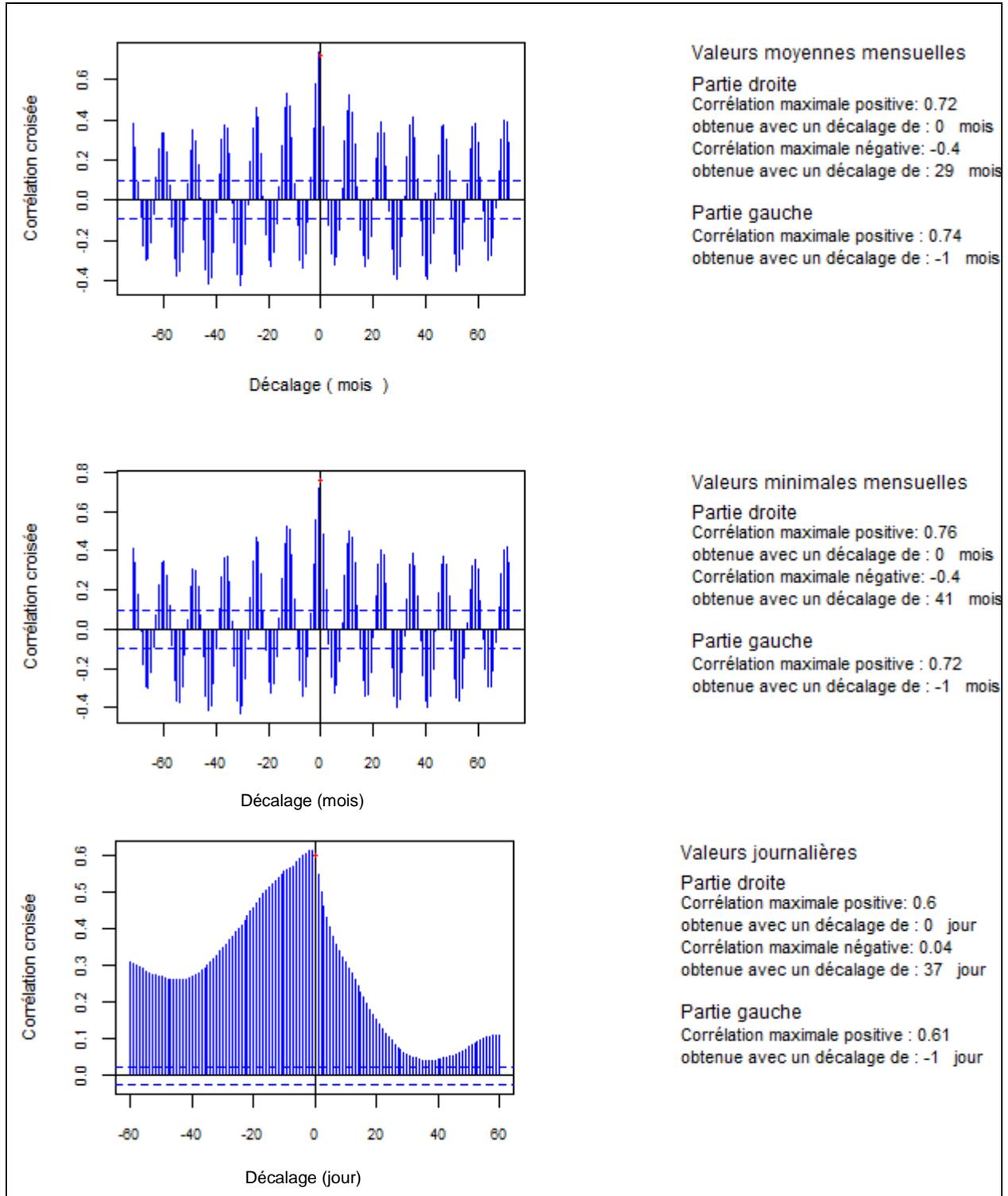


Illustration 103 - Corrélogrammes croisés niveaux (01381X0070) – débits (A8500610)

La Mortagne

La station de la Mortagne (Meurthe) à Roville-aux-Chênes (A6711210) est située au droit des alluvions de la vallée de la Meurthe ; elle a été associée au piézomètre 03057X0018 à Grandvillers captant les Grès vosgiens en partie libre (distant de 14,9 km de la station). Ce dernier a été retenu, en l'absence de piézomètre plus proche. L'évolution des débits et des niveaux est présentée par l'illustration 104. Comme dans les 2 cas qui précèdent, les variations débits-niveaux apparaissent synchrones (aux dates communes, ainsi que les statistiques).

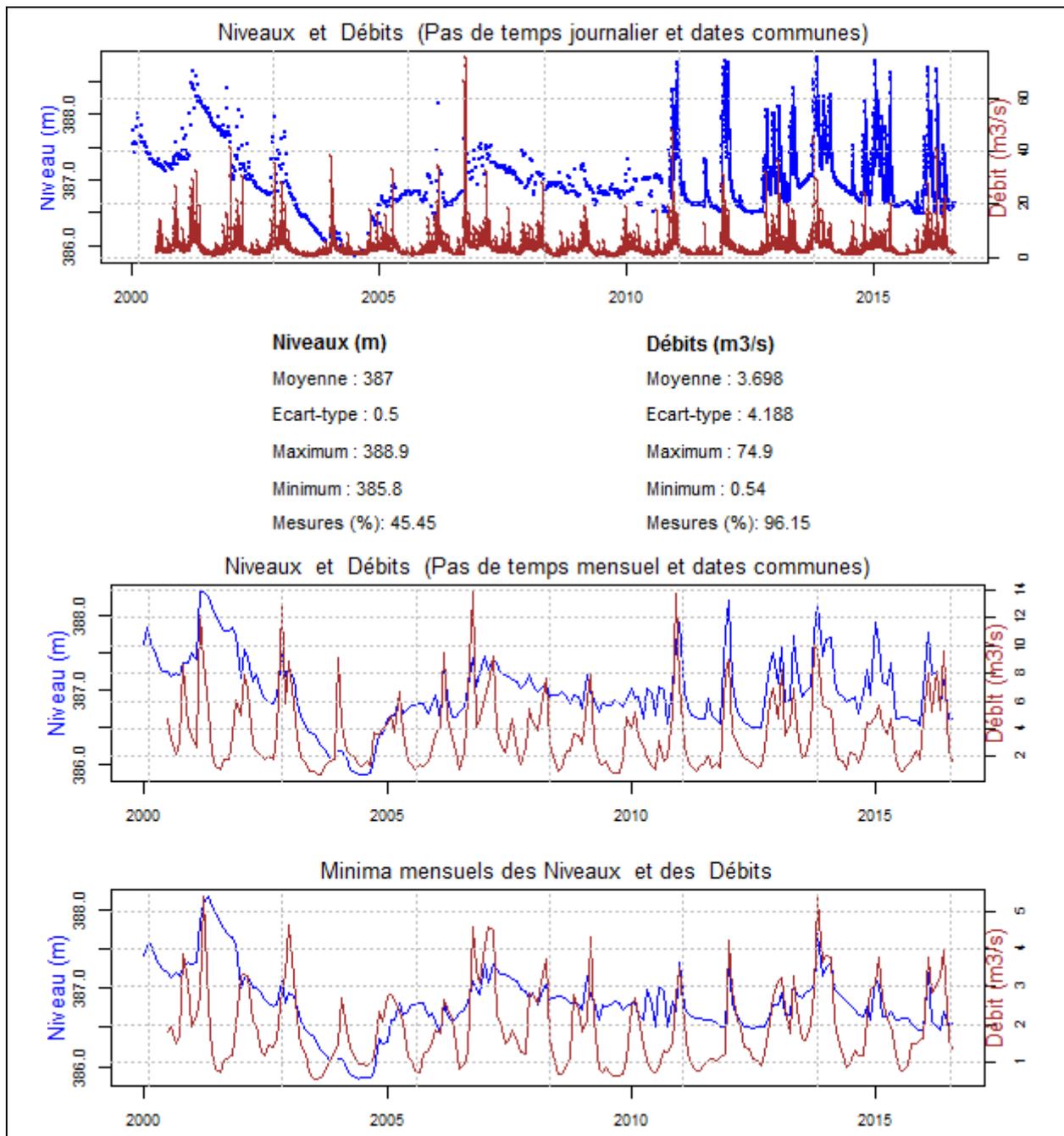


Illustration 104 - Comparaison des niveaux (03057X0018) et débits (A6711210) aux pas de temps journalier et mensuel

Les corrélogrammes croisés aux pas de temps mensuel et journalier (Illustration 105) confirment la relation niveaux-débits mise en évidence par l'illustration précédente. Ils traduisent nettement l'absence de décalage temporel entre les deux variables.

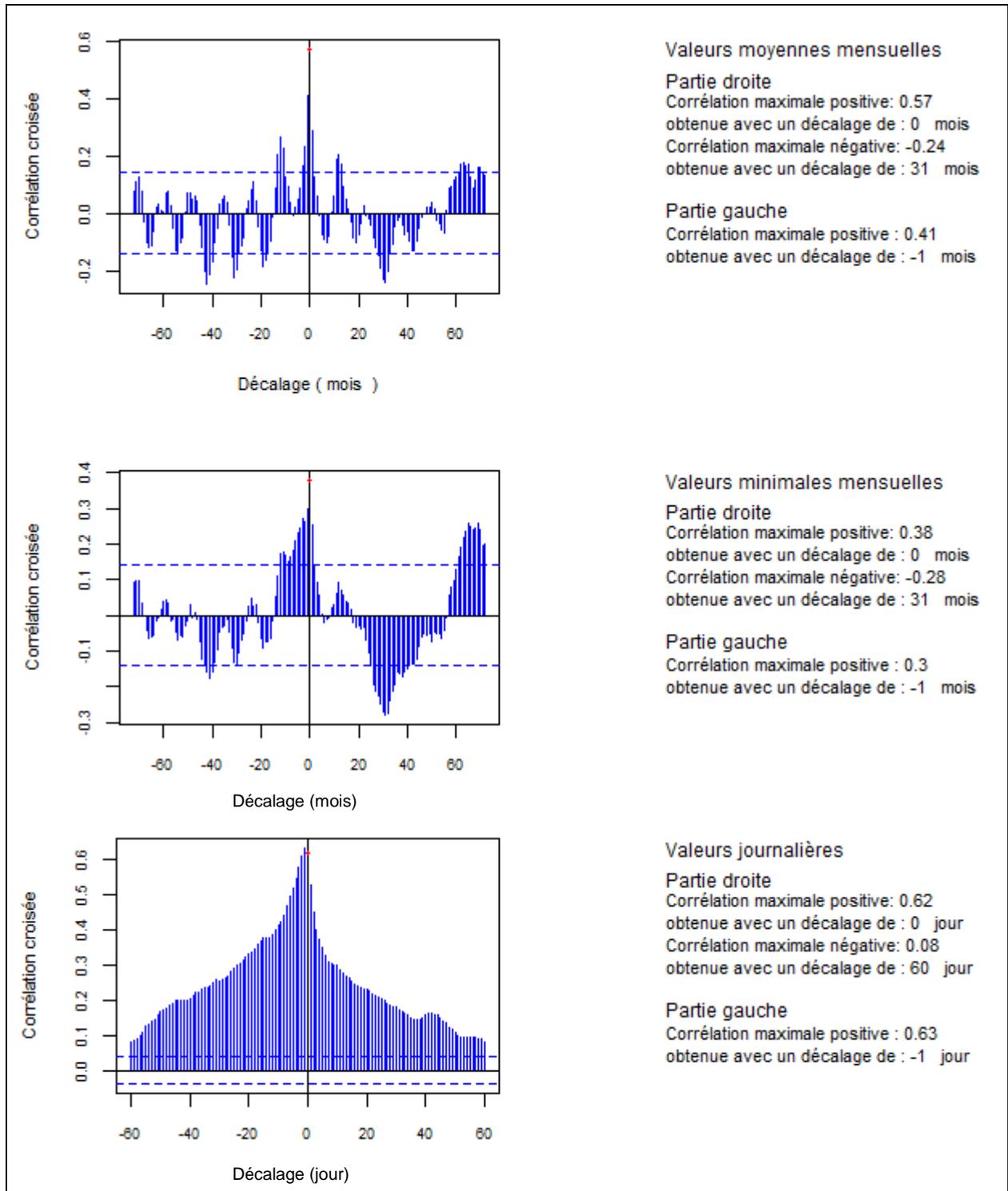


Illustration 105 - Corrélogrammes croisés niveau (03057X0018) – débit (A6711210)

- **La Meuse**

La station de la Meuse à Chooz (B7200010) est située au droit des alluvions de la vallée de la Meuse ; elle a été associée au piézomètre 00406X0029 à Ham-Sur-Meuse captant les alluvions de la Meuse, de la Chiers, et de la Bar (distant de 2,3 km de la station). L'évolution des débits et des niveaux est présentée par l'illustration 106. Les variations débits-niveaux apparaissent ici aussi nettement synchrones (aux dates communes, ainsi que les statistiques).

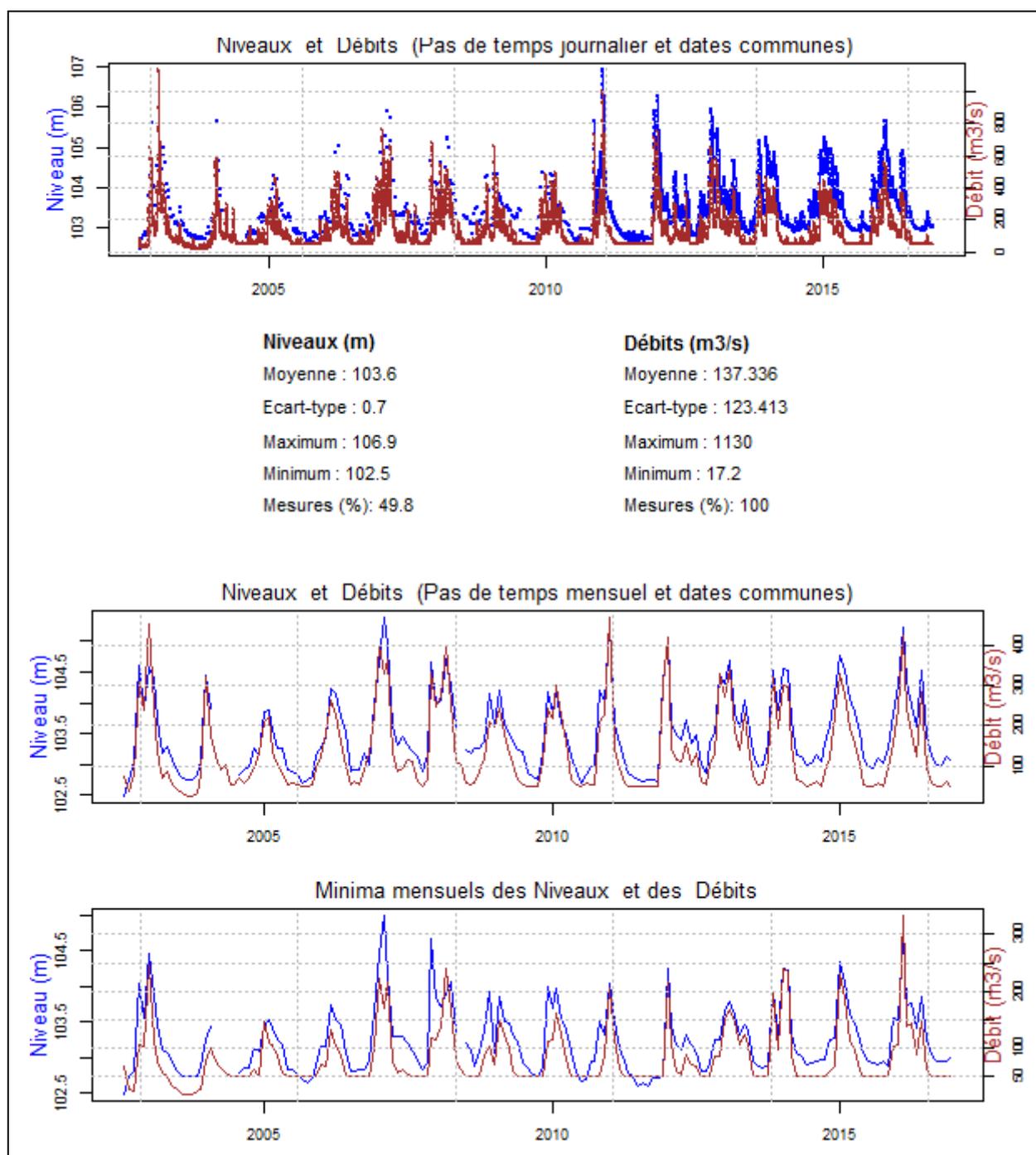


Illustration 106 - Comparaison des niveaux (00406X0029) et débits (B7200010) aux pas de temps journalier et mensuel

Les corrélogrammes croisés aux pas de temps mensuel et journalier (Illustration 107) confirment la relation niveaux-débits mise en évidence par l'illustration précédente. Ils traduisent nettement l'absence de décalage temporel entre les deux variables.

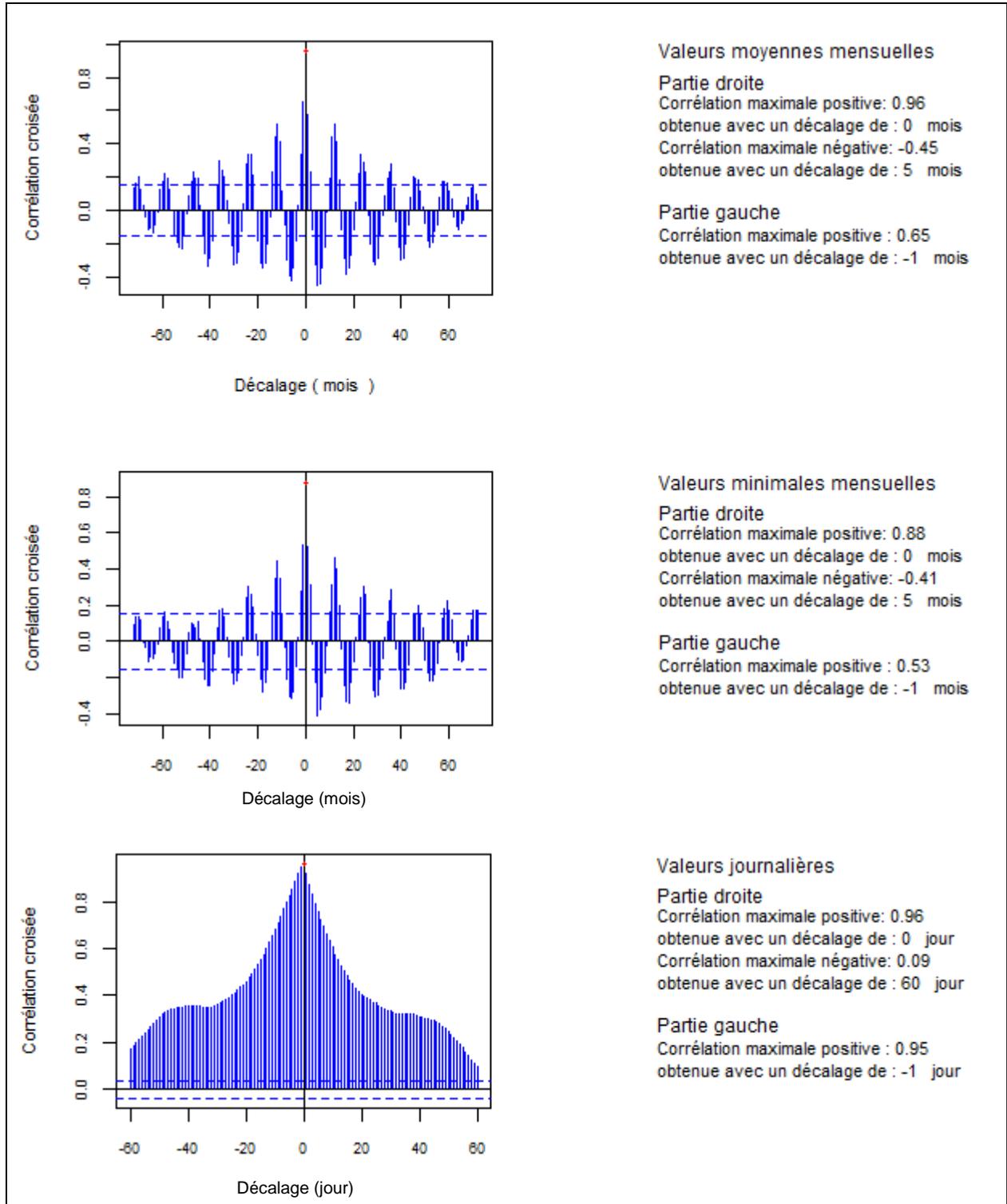


Illustration 107 - Corrélogrammes croisés niveau (00406X0029) – débit (B7200010)

Synthèse

L'étude des relations nappe – rivière au droit des stations hydrologiques montre que les niveaux et les débits évoluent de façon synchrone sans déphasage. Les graphiques d'évolution de ces deux variables ainsi que les corrélogrammes croisés montrent l'absence de décalage temporel aux pas de temps mensuel et journalier. A noter que si les niveaux de la nappe peuvent être critiques par rapport aux débits (survie des écosystèmes aquatiques) ils ne le sont pas nécessairement pour la nappe.

3.2.2. Chroniques piézométriques recensées

En Lorraine, 74 piézomètres ont été recensés, 24 disposent de mesures avant 2000 (Tableau 27 ci-après) et 50 à partir de 2000 (tableaux 29 et 30 ci-après).

Le téléchargement des données a été effectué via ADES début septembre 2016 ; c'est la raison pour laquelle, dans les tableaux 29 et 30, les dates finales de mesures sont à fin-août ou début septembre 2016. Pour les points qui ont des mesures avant 2000 (intéressants pour la longueur des chroniques), une mise à jour a été faite début mars 2017.

Parmi les piézomètres ayant au moins 20 ans de données, les piézomètres suivants ont été retirés (ils captent les Grès du Trias inférieur du bassin houiller et les Grès Vosgien captif) :

Code BSS	Commune	Nappe
01392X0110/	Merten	Grès du Trias inférieur du bassin houiller
01653X0101/	Saint-Avold	Grès du Trias inférieur du bassin houiller
01665X0026/	Puttelange-aux-lacs	Grès vosgien captif non minéralisé
02697X0005/	Moncel-Les-Luneville	Grès vosgien captif non minéralisé

Le piézomètre 02682X0078 (captant la nappe des *Alluvions de la Meurthe et de la Moselle en amont de la confluence avec la Meurthe*, à Tonnoy) où les mesures cessent en 2009 a été aussi retiré de l'analyse.

Observations

Le piézomètre 01632X0070 (commune de Ville-sur-Yron), qui capte le Dogger, est affecté à la surveillance du bassin ferrifère. La remontée des niveaux qu'on y observe de 1996 à 1998 (d'où l'amplitude de 60 m indiquée dans le tableau 28 ci-après).

Le piézomètre 01377X0205 (commune de Verneville) capte aussi le Dogger et est aussi affecté à la surveillance du bassin ferrifère. L'amplitude de fluctuation de 35 m ne résulte pas, par contre, de l'arrêt des exhaures miniers : il y a de fortes fluctuations annuelles.

Le Tableau 28 présente les caractéristiques globales des chroniques de niveaux mesurés sur les 19 piézomètres restant et actuellement suivis.

Piézomètre	Commune	Nappe
00692X0062	Gespunsart	Socle ardennais
01102X0025	Brieules-sur-Bar	Calcaires oxfordiens
01116X0138	Clery-le-petit	Calcaires oxfordiens
01358X0035	Vacherauville	Calcaires oxfordiens
01372X0204	Mance	Calcaires du Dogger des côtes de Moselle
01377X0205 (Surveillance du bassin ferrifère)	Verneville	Calcaires du Dogger des côtes de Moselle
01381X0069	Richemont	Alluvions de la Moselle en aval de la confluence avec la Meurthe
01381X0070	Bertrange	Alluvions de la Moselle en aval de la confluence avec la Meurthe
01392X0110	Merten	Grès du Trias inférieur du bassin houiller
01632X0070 (Surveillance du bassin ferrifère)	Ville-sur-Yron	Calcaires du Dogger des côtes de Moselle
01653X0104	Saint-Avold	Grès du Trias inférieur du bassin houiller
01665X0026	Puttelange-aux-lacs	Grès vosgien captif non minéralisé
01937X0054	Villers-en-Haye	Calcaires du Dogger des côtes de Moselle
02653X0001	Couvertpuis	Calcaires tithoniens karstiques entre Seine et Ornain
02663X0001	Epiez-sur-Meuse	Calcaires oxfordiens
02682X0095	Tonnoy	Alluvions de la Meurthe et de la Moselle en amont de la confluence avec la Meurthe
02697X0005	Moncel-Les-Luneville	Grès vosgien captif non minéralisé
02706X0074	Celles-sur-Plaine	Grès vosgiens en partie libre
03027X0007	Fréville	Calcaires du Dogger du plateau de Haye
03043X0056	Essegney	Alluvions de la Meurthe et de la Moselle en amont de la confluence avec la Meurthe
03057X0018	Grandvillers	Grès vosgiens en partie libre
03384X0037	Hareville	Calcaires du Muschelkalk
03415X0037	Xonrupt-Longemer	Socle vosgien
03771X0070	Gerardmer	Socle vosgien

En bleu, les piézomètres, appartenant au réseau de suivi sécheresse
Rayés : les piézomètres retirés des traitements

Tableau 27 – 24 piézomètres de Lorraine disposant de mesures avant 2000

Piézomètre	Début	Fin	Années mesures	Taux (%)	Moyenne (m)	Maxi. (m)	Mini. (m)	Amplitude (m)
00692X0062	04/01/1983	27/02/2017	35	43,7	196,99	198,26	195,86	2,4
01102X0025	17/02/1971	27/02/2017	46	36,3	165,74	168,15	164,97	3,18
01116X0138	10/04/1975	27/02/2017	42	34,7	180,45	184,36	178,91	5,45
01358X0035	19/11/1963	27/02/2017	46	29,3	186,46	189,49	185,21	4,28
01372X0204	02/03/1995	27/02/2017	23	55,1	213,49	219,03	209,55	9,48
01377X0205	13/06/1969	23/01/2017	47	35,3	234,83	260,59	225,54	35,05
01381X0069	05/01/1970	31/12/2016	47	21,9	154,64	156,14	153,55	2,59
01381X0070	20/08/1971	27/02/2017	47	42,4	154,54	156,64	153,36	3,28
01632X0070	30/03/1995	27/02/2017	23	57,3	185,07	195,83	134,88	60,95
01937X0054	10/10/1980	27/02/2017	38	31,3	196,82	203,41	189,96	13,45
02653X0001	07/03/1974	20/02/2017	44	11,1	247,3	255,42	244,61	10,81
02663X0001	07/04/1975	21/02/2017	43	37,8	254,25	263,94	252,53	11,41
02706X0074	15/01/1983	27/02/2017	34	32,2	310,75	312,11	309,91	2,2
03027X0007	10/02/1993	27/02/2017	25	55,2	283,29	303,86	279,57	24,29
03043X0056	25/01/1971	27/02/2017	44	22,3	267,92	271,2	266,57	4,63
03057X0018	09/02/1993	27/02/2017	25	39,1	386,98	388,85	385,84	3,01
03384X0037	26/10/1988	27/02/2017	30	51,3	345,43	354,47	339,17	15,3
03415X0037	05/03/1993	27/02/2017	24	42,8	729,69	736,27	724,31	11,96
03771X0070	23/06/1993	27/02/2017	18	39,3	670,04	673,06	665,86	7,2

En bleu, les piézomètres, appartenant au réseau de suivi sécheresse

En rouge, 2 piézomètres affectés à la surveillance du bassin ferrifère

Tableau 28 - Caractérisation des séries piézométriques enregistrées sur 19 piézomètres de Lorraine disposant de mesures avant 2000

Pour ces 19 points, le nombre d'années de mesures va de 18 à 47 et le taux de mesures (nombre de mesures journalières / nombre total de jours dans la période considérée) est compris entre 11 % et 57 % (le suivi est beaucoup plus régulier, journalier, après 2000).

Les résultats de l'analyse et les graphiques sont consultables dans le dossier Lorraine du CD joint au rapport (Annexe_1 : fichier *Graphiques_Hac_data_ante_2000.pdf*).

Comme pour les piézomètres de Champagne, on a reporté sur les graphiques d'évolution des niveaux :

- la moyenne des minima annuels (ligne horizontale jaune),
- le minimum des valeurs de la série des HMNA (ligne horizontale rouge).

La moyenne est représentée par une ligne horizontale verte.

Le Tableau 29 et le Tableau 30 recensent les piézomètres disposant de mesures après 2000.

Piézomètre	Début	Fin	Années mesures	Taux (%)	Moyenne (m)	Maxi. (m)	Mini. (m)	Amplitude (m)
00406X0029	28/08/2002	05/09/2016	15	48,70	103,58	106,90	102,48	4,42
00684X0051	28/09/2004	06/09/2016	13	18,60	261,27	264,82	249,62	15,20
00873X0036	28/09/2004	06/09/2016	13	98,10	155,25	159,13	152,68	6,45
00905X0008	11/06/2008	29/08/2016	9	98,90	265,21	269,90	260,74	9,16
01112X0005	30/08/2002	29/08/2016	15	17,30	164,51	166,42	163,96	2,46
01114X0042	21/02/2003	29/08/2016	14	88,20	193,13	198,05	191,50	6,55
01137X0175	24/02/2006	29/08/2016	11	100,00	199,63	209,36	92,80	116,56
01146X0070	14/06/2003	29/08/2016	14	84,90	149,41	150,73	148,32	2,41
01358X0208	05/02/2004	29/08/2016	13	30,50	186,63	188,41	185,73	2,68
01372X0198	27/06/2001	29/08/2016	16	96,50	222,97	223,57	220,59	2,98
01377X0099	27/06/2001	29/08/2016	16	95,90	169,98	173,89	169,17	4,72
01396X0060	02/08/2002	29/08/2016	15	17,90	213,19	214,88	212,06	2,82
01612X0116	09/12/2002	29/08/2016	15	13,70	233,88	235,00	232,98	2,02
01616X0006	11/08/2004	29/08/2016	13	88,70	214,60	217,45	213,52	3,93
01644X0013	09/12/2003	29/08/2016	12	62,70	256,73	257,40	255,83	1,57
01644X0033	05/09/2002	29/08/2016	15	7,20	214,22	214,63	213,28	1,35
01656X0013	30/09/2004	26/03/2007	4	86,50	200,51	202,44	199,41	3,03
01673X0078	30/09/2004	11/08/2015	12	74,90	287,44	288,36	282,11	6,25
01915X0023	02/12/2004	29/08/2016	13	94,80	157,59	159,51	157,06	2,45
01918X0006	06/02/2004	29/08/2016	13	52,70	267,81	272,36	263,96	8,40
01922X0067	10/07/2009	04/05/2016	8	97,80	216,09	217,28	215,69	1,59
01922X0074	18/02/2015	29/08/2016	2	100,00	211,17	212,69	210,43	2,26
01934X0106	09/12/2003	29/08/2016	14	92,30	178,38	179,92	177,88	2,04
01943X0076	15/11/2004	07/03/2012	9	50,70	345,00	346,57	344,34	2,23
02276X0050	11/08/2004	29/08/2016	13	92,10	201,52	206,25	200,09	6,16
02281X0037	13/01/2004	29/08/2016	13	53,70	289,35	299,30	280,10	19,20
02293X0118	23/09/2004	25/08/2016	13	14,30	199,60	201,42	199,06	2,36
02296X0038	04/11/2002	29/08/2016	15	50,80	203,50	204,84	201,92	2,92
02303X0065	01/01/2003	29/08/2016	14	29,50	224,80	226,02	222,77	3,25
02307X0234	07/11/2002	29/08/2016	14	83,90	206,55	208,37	205,52	2,85
02307X0281	07/11/2002	29/08/2016	15	93,20	206,71	208,84	205,78	3,06
02318X0008	28/11/2007	28/08/2016	10	98,70	239,13	239,76	236,24	3,52
02322X0002	28/10/2002	26/10/2009	8	13,40	240,63	246,20	237,20	9,00
02327X0032	12/08/2004	29/08/2016	13	96,80	289,37	291,21	288,52	2,69
02667X0014	10/08/2004	29/08/2016	13	95,00	283,33	288,85	280,41	8,44
02672X0018	03/08/2004	30/08/2016	13	14,20	247,83	268,49	243,10	25,39
02682X0095	31/03/2009	31/12/2013	5	93,80	230,15	232,71	229,14	3,57
02691X0003	02/12/2003	02/09/2016	14	10,40	215,86	217,55	211,00	6,55

En bleu, les piézomètres appartenant au réseau de suivi sécheresse
Rayés : les piézomètres retirés (cf. Tableau)

Tableau 29 - Caractérisation des séries piézométriques enregistrées sur 50 piézomètres de Lorraine disposant de mesures à partir de 2000

Piézomètre	Début	Fin	Années mesures	Taux (%)		Moyenne (m)	Maxi. (m)	Mini. (m)	Amplitude (m)
03037X0053	27/08/2003	29/08/2016	14	15,50		254,73	255,94	252,04	3,90
03047X0058	06/10/2004	29/08/2016	13	47,10		280,78	282,99	280,50	2,49
03375X0013	13/12/2002	05/09/2016	15	49,70		380,83	382,06	379,64	2,42
03378X1003	03/09/2002	22/07/2016	15	16,70		270,81	272,36	269,58	2,78
03383X0006	23/08/2005	29/08/2016	11	76,70		292,65	293,97	291,69	2,28
03384X0005	10/02/2004	29/08/2016	13	99,60		291,91	292,62	290,51	2,11
03386X0015	26/08/2005	06/03/2011	7	3,20		284,48	285,31	283,81	1,50
03386X0030	26/08/2005	08/12/2013	9	3,20		280,92	326,99	279,65	47,34
03386X0031	25/08/2005	29/08/2016	12	5,90		301,58	302,67	301,07	1,60
03387X0040	06/05/2004	29/08/2016	13	88,30		357,83	368,02	355,49	12,53
03732X0002	13/08/2002	05/09/2016	15	50,60		355,01	355,89	354,61	1,28
03754X0015	14/12/2007	29/08/2016	10	91,70		537,17	539,51	532,46	7,05

En bleu, les piézomètres appartenant au réseau de suivi sécheresse
 Rayés : les piézomètres retirés (cf. Tableau)

Tableau 30 - Caractérisation des séries piézométriques enregistrées sur 50 piézomètres de Lorraine disposant de mesures à partir de 2000 (suite)

Les 10 piézomètres indiqués dans le Tableau 31 ont été retirés, soit parce qu'ils ne sont plus suivis soit parce qu'ils ont moins de 10 années de mesures.

N° BSS	Début	Fin
01656X0013	01/01/2004	26/03/2007
01673X0078	01/01/2004	11/08/2015
01943X0076	01/01/2004	07/03/2012
02322X0002	01/01/2002	26/10/2009
02682X0095	01/01/2009	31/12/2013
03386X0015	01/01/2005	06/03/2011
03386X0030	01/01/2005	08/12/2013
00905X0008	01/01/2008	29/08/2016
01922X0067	01/01/2009	04/05/2016
01922X0074	01/01/2015	29/08/2016

Tableau 31 - Piézomètres dont le suivi a été interrompu ou avec moins de 10 années de mesures

Quelques caractéristiques statistiques des 40 séries piézométriques restant sont fournies par le Tableau 32. Les amplitudes de fluctuations sont en général faibles, inférieures à 2 m sur 28 piézomètres.

L'amplitude de 114 m au point 01137X0175 (qui est un puits de mine, affecté à la surveillance des eaux souterraines du bassin ferrifère) résulte d'une hausse des niveaux de plus de 110 m de 2006 à 2008.

Point	Début	Fin	Années	Manquantes	Moyenne	Maximum	Minimum	Amplitude
00406X0029	2002	2016	15	2	102,88	103,18	102,71	0,47
00684X0051	2004	2016	13	1	257,54	262,82	249,84	12,98
00873X0036	2004	2016	13	0	154,32	155,56	153,17	2,39
01112X0005	2002	2016	15	1	164,12	164,21	163,99	0,22
01114X0042	2003	2016	14	1	192,45	193,26	191,57	1,69
01137X0175	2006	2016	11	0	192,29	208,27	93,77	114,5
01146X0070	2003	2016	14	0	148,81	149,43	148,32	1,11
01358X0208	2004	2016	13	1	186,07	186,36	185,84	0,52
01372X0198	2001	2016	16	0	222,33	223,26	220,65	2,61
01377X0099	2001	2016	16	0	169,60	172,88	169,24	3,64
01396X0060	2002	2016	15	1	212,85	214,13	212,23	1,91
01612X0116	2002	2016	15	2	233,29	233,50	233,02	0,48
01616X0006	2004	2016	13	0	213,79	214,02	213,57	0,45
01644X0013	2003	2016	14	5	256,44	256,84	256,02	0,82
01915X0023	2004	2016	13	1	157,21	157,29	157,06	0,23
01918X0006	2004	2016	13	1	264,46	265,25	264,00	1,25
01934X0106	2003	2016	14	1	178,30	178,39	178,13	0,26
02276X0050	2004	2016	13	1	200,38	200,55	200,26	0,29
02281X0037	2004	2016	13	1	282,23	284,86	280,12	4,74
02293X0118	2004	2016	13	2	199,22	199,31	199,10	0,21
02296X0038	2002	2016	15	1	202,68	203,13	201,96	1,17
02303X0065	2003	2016	14	6	223,70	224,22	223,16	1,06
02307X0234	2002	2016	15	1	206,34	206,83	205,87	0,96
02307X0281	2002	2016	15	0	206,49	207,24	205,86	1,38
02318X0008	2007	2016	10	1	238,94	239,44	238,46	0,98
02327X0032	2004	2016	13	0	289,25	289,44	289,05	0,39
02667X0014	2004	2016	13	0	281,22	281,99	280,66	1,33
02672X0018	2004	2016	13	2	243,64	243,88	243,32	0,56
02691X0003	2003	2016	14	6	215,23	216,97	213,07	3,9
03037X0053	2003	2016	14	3	254,52	255,70	253,03	2,67
03047X0058	2004	2016	13	1	280,59	280,63	280,57	0,06
03375X0013	2002	2016	15	1	380,50	380,67	379,93	0,74
03378X1003	2002	2016	15	4	270,30	271,40	269,62	1,78
03383X0006	2005	2016	12	3	292,52	293,38	291,75	1,63
03384X0005	2004	2016	13	0	291,67	292,10	291,16	0,94
03387X0040	2004	2016	13	1	356,93	357,45	356,31	1,14
03732X0002	2002	2016	15	1	354,87	355,05	354,63	0,42
03754X0015	2007	2016	10	1	535,69	536,49	533,10	3,39

En bleu, les piézomètres appartenant au réseau de suivi sécheresse

Tableau 32 – Caractéristiques statistiques de 40 séries piézométriques de Lorraine disposant de mesures après 2000

Les résultats de l'analyse et les graphiques sont consultables dans le *dossier Lorraine* du CD joint au rapport (Annexe_2 : fichier *Graphiques_Hac_data_post2000.pdf*). On a reporté sur les graphiques d'évolution des niveaux :

- la moyenne des minima annuels (ligne horizontale jaune) ;
- le minimum des valeurs de la série des HMNA (ligne horizontale rouge) ;
- la moyenne est représentée par une ligne horizontale verte.

3.2.3. Tests statistiques sur les séries de niveaux moyens annuels avec au moins 20 ans de mesures

Le Tableau 33 présente les résultats obtenus en analysant les niveaux moyens interannuels (année civile) des 19 piézomètres disposant de mesures avant 2000, en ayant retenu comme conditions de possibilité d'un traitement statistique sur des valeurs annuelles un nombre d'années supérieur à 20 et, pour chaque année, au moins 36 mesures bien réparties dans l'année (ce qui est l'équivalent de 3 mesures par mois). Ce choix de 36 valeurs est peu sévère mais il permet d'obtenir des chroniques plus longues. Sur les 19 piézomètres, 14 satisfont ces contraintes (Tableau 33).

Le Tableau 33 fournit l'autocorrélation d'ordre 1, la pente de la tendance et la p-value du test de Mann-Kendall ainsi que la p-value du test de Pettitt pour la détection d'une rupture significative dans les séries traitées.

Sur ces 14 piézomètres, 2 présentent une tendance à la baisse significative au seuil de risque de 5 % (en rouge dans le tableau, p-value inférieure à 0,05). L'autocorrélation est forte pour 1 piézomètre (en mauve dans le tableau).

L'analyse fréquentielle sera donc testée sur 12 piézomètres.

Piézomètre	Années	Manques	Auto-corrélation ordre 1	Pente (cm/an)	pvalue du test MK	pvalue du test de Pettitt
00692X0062	35	3	0,401	-0,5	0,11165	0,1551
01102X0025	39	3	0,194	-0,5	0,0089	0,1069
01116X0138	25	1	0,236	-0,2	0,98021	0,999
01377X0205	41	2	0,678	-11	0,02281	0,00312
01381X0069	47	4	0,348	0,5	0,19287	0,24948
01381X0070	46	0	0,441	-0,7	0,0818	0,12299
01937X0054	37	2	-0,068	-2,5	0,29483	0,60108
02653X0001	25	5	-0,119	0,5	0,58086	0,999
02663X0001	24	0	0,039	0,6	0,88103	0,999
02706X0074	35	3	0,156	-0,8	0,19435	0,08104
03027X0007	25	0	-0,036	-1,2	0,72595	0,35096
03057X0018	25	0	0,398	+1	0,30365	0,62829
03384X0037	29	1	0,383	+6,3	0,08381	0,85423
03415X0037	25	1	0,018	-1,5	0,34391	0,25911

Tableau 33 - Statistiques et tests sur les moyennes interannuelles année civile des niveaux calculées sur 14 piézomètres de Lorraine ayant plus de 20 ans de mesures.

Les résultats des tests statistiques et les graphiques sont consultables dans le *dossier Lorraine* du CD joint au rapport (Annexe_3 : fichier *Graphiques_Hac_Tests.pdf*).

3.2.4. Analyse fréquentielle sur les séries de niveaux moyens annuels

A priori, d'après les résultats des tests ci-avant (§ 3.2.3.2.), l'analyse fréquentielle ne peut porter que sur 12 piézomètres.

Seuls 6 ajustements relativement corrects (sur la loi Log-normale ou la loi Normale) ont pu être obtenus (Illustration 108 à Illustration 112) et Tableau 34.

Piézomètre	Nappe	Loi	Test KS	5 ans sec	10 ans sec	20ans sec
01116X0138 (Cléry-le-Petit)	Calcaires oxfordiens	Log-Normale (préférée à la loi de gumbel)	0,927	180,0	179,7	179,5
01381X0070 (Bertrange)	Alluvions de la Moselle en aval de la confluence avec la Meurthe	Log-Normale	0,948	154,3	154,1	154,0
01937X0054 (Villers-en-Haye)	Calcaires du Dogger des côtes de Moselle	Log-Normale	0,942	195,8	195,2	194,8
02663X0001 (Epiez-sur-Meuse)	Calcaires oxfordiens	Log-Normale (ou loi normale)	0,999	253,8	253,6	253,4
02706X0074 (Celles-sur-Plaine)	Grès vosgiens en partie libre	Log-Normale	0,949	310,5	310,4	310,3
03027X0007 (Fréville)	Calcaires du Dogger	Log-Normale (éventuellement)	0,898	282,7	282,3	281,9

Tableau 34 - Résultats de l'analyse fréquentielle réalisée sur 5 séries de niveaux moyens

Les écarts entre les valeurs des différentes périodes de retour sont faibles, compris entre 10 et 60 cm. Les plus importants se rencontrent à Fréville (40cm) et à Villers-en-Haye (60 et 40 cm).

Les résultats de l'analyse fréquentielle et les graphiques associés sont consultables dans le dossier Lorraine du CD joint au rapport (fichier *Graphiques_Hac_Analyse_fréquentielle.pdf* en Annexe_4).

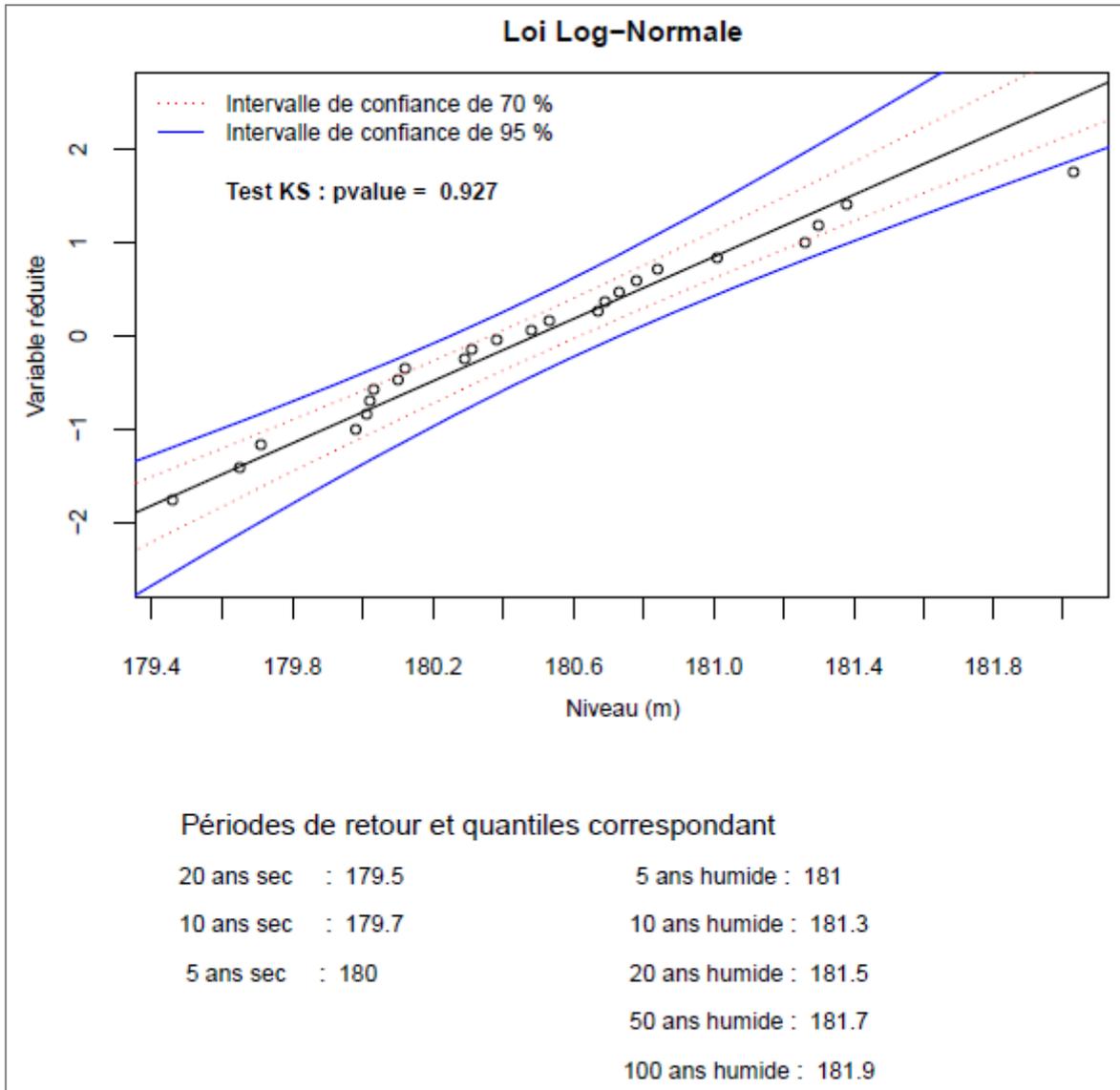


Illustration 108 - Piézomètre 01116X0138, ajustement d'une loi Log-normale sur les niveaux moyens annuels

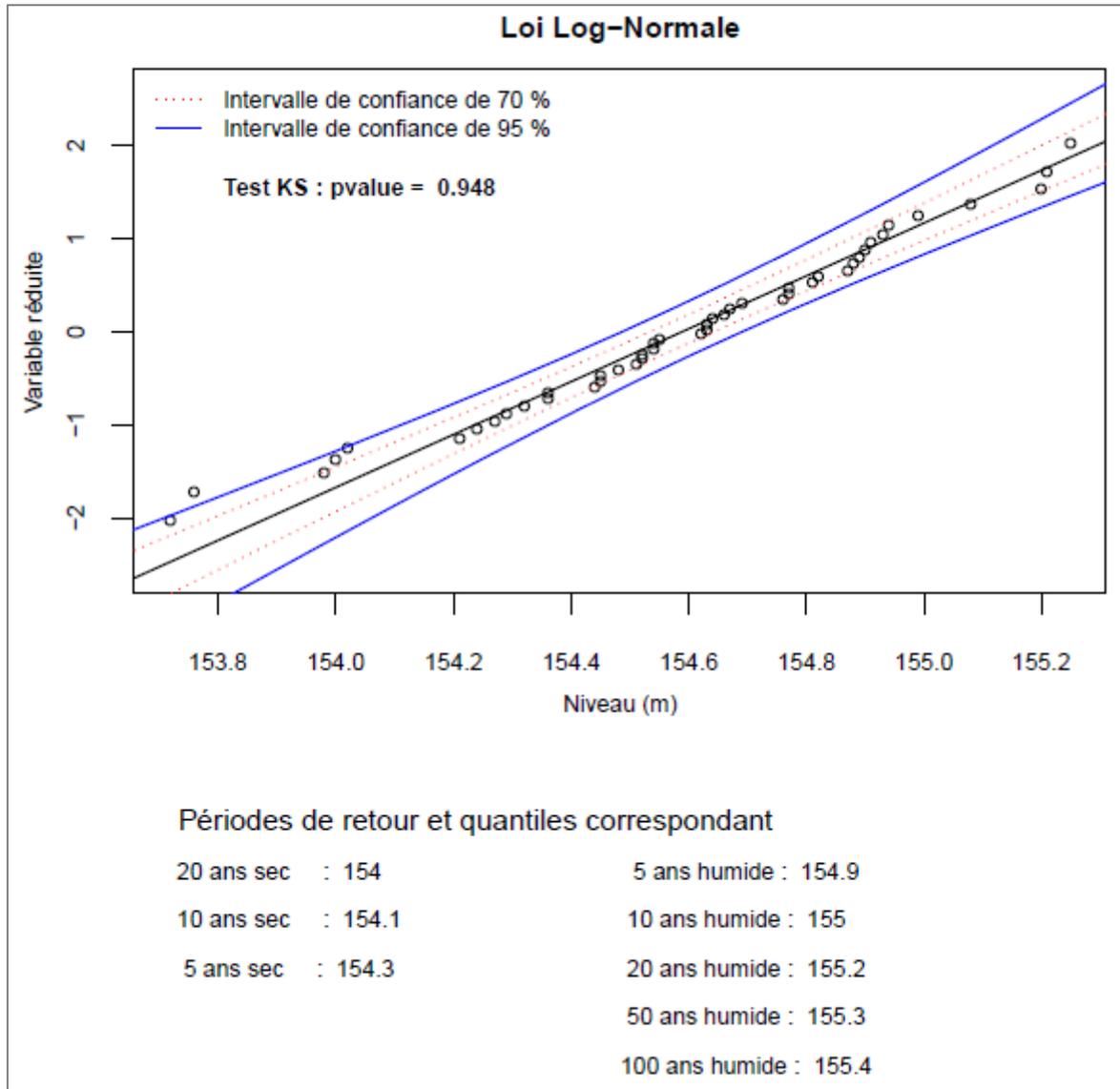


Illustration 109 - Piézomètre 01381X0070, ajustement d'une loi Log-normale sur les niveaux moyens annuels

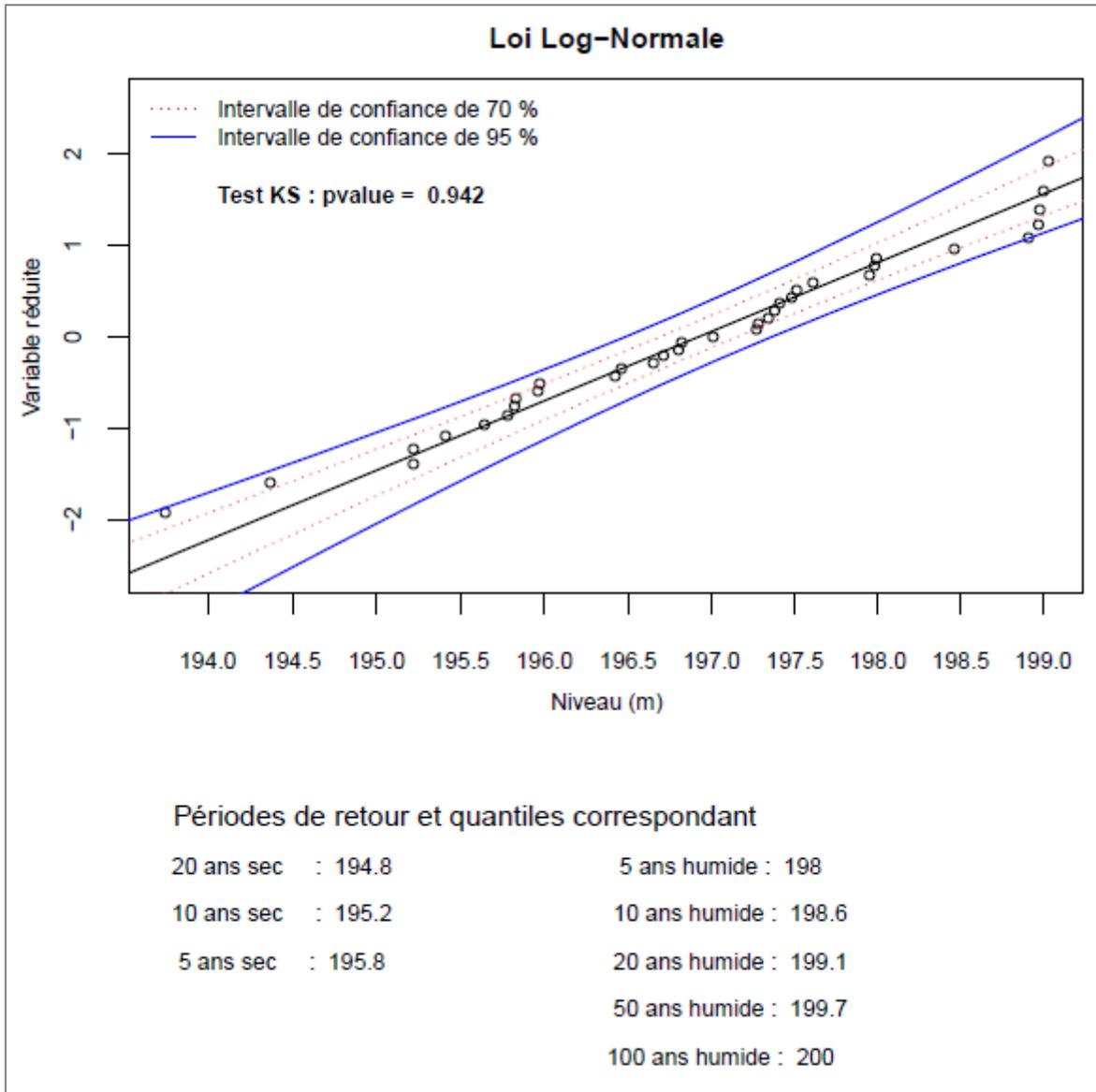


Illustration 110 - Piézomètre 01937X0054, ajustement d'une loi Log-normale sur les niveaux moyens annuels

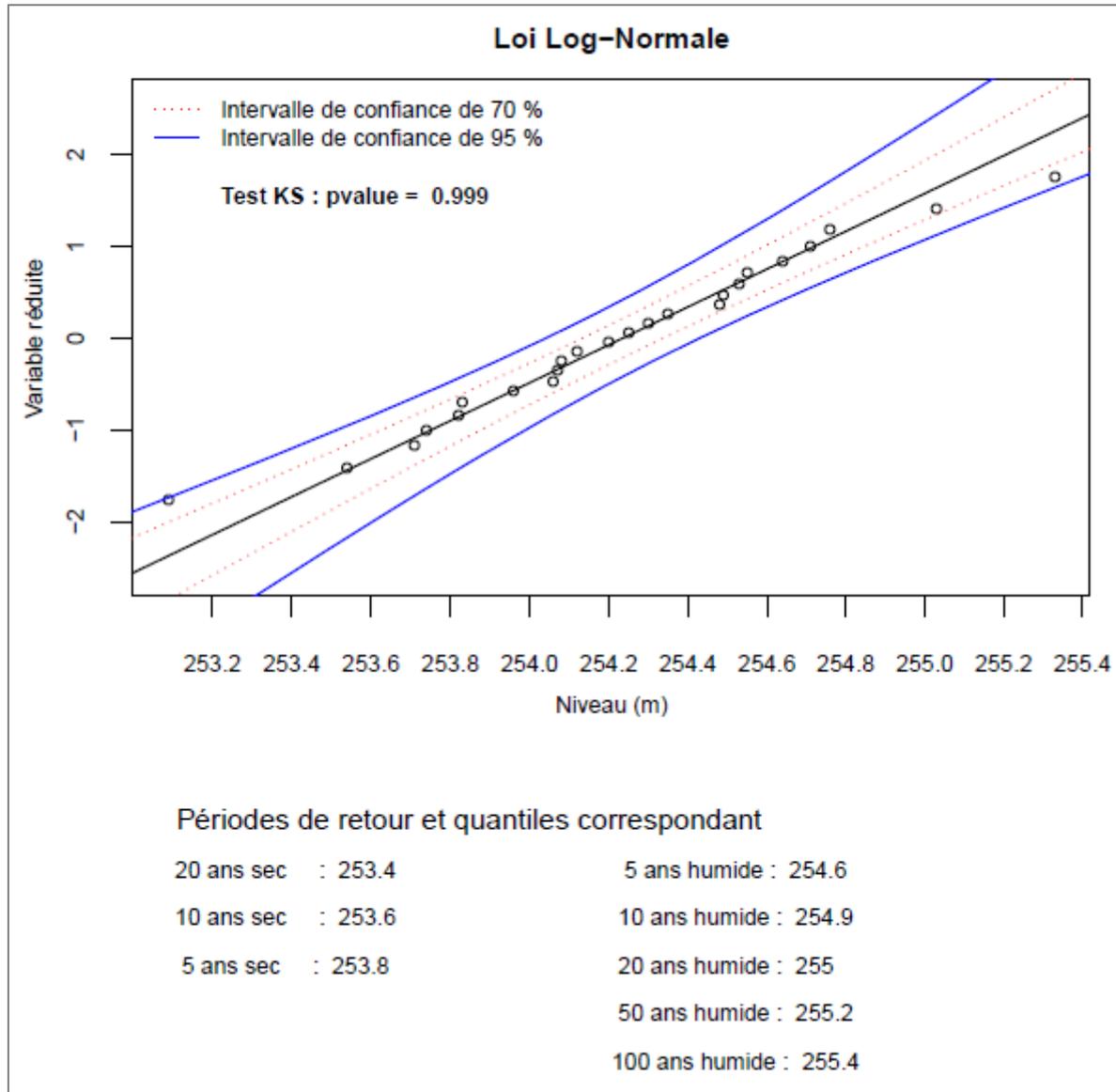


Illustration 111 - Piézomètre 02663X0001, ajustement d'une loi Log-normale sur les niveaux moyens annuels

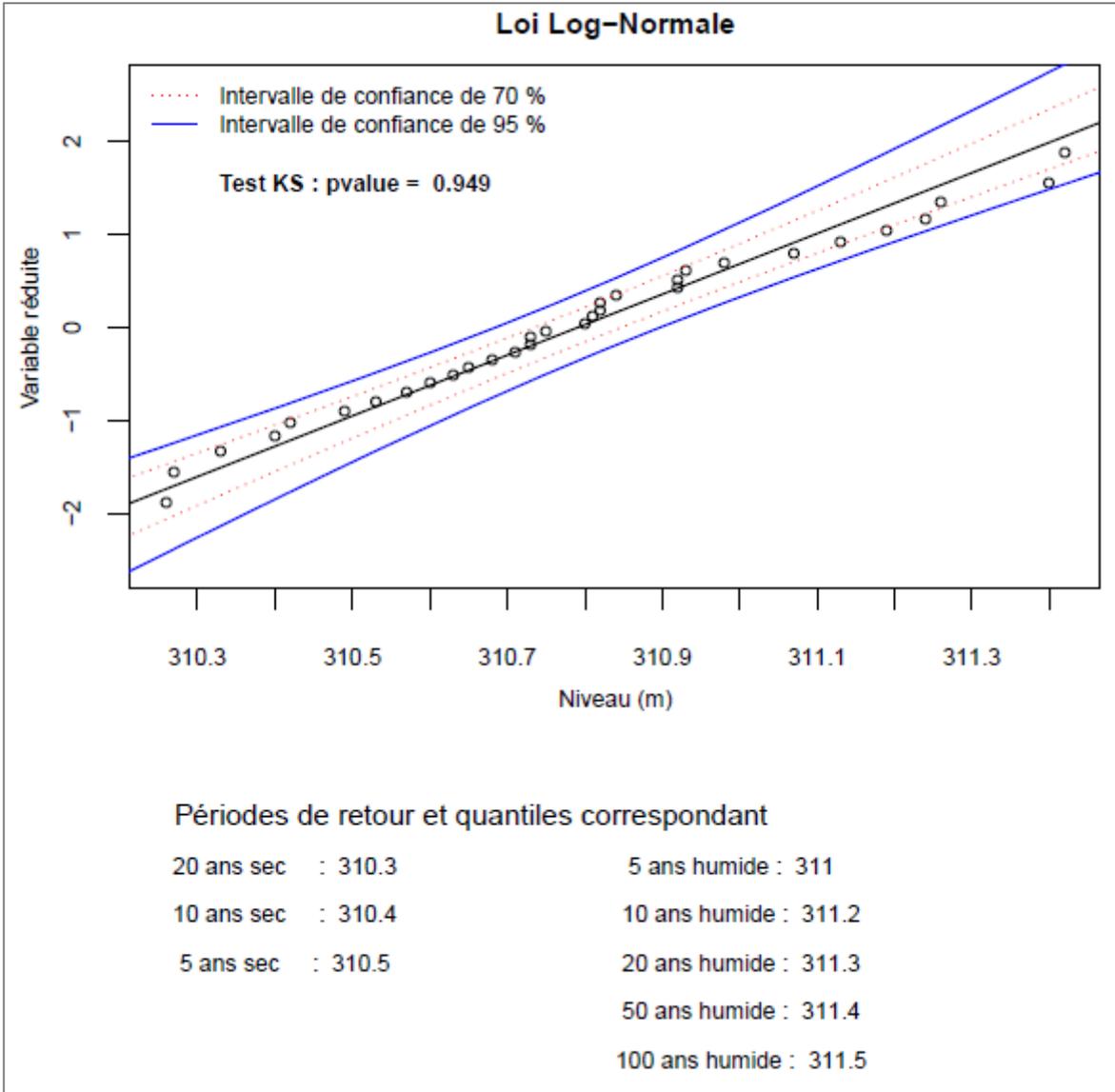


Illustration 112 - Piézomètre 02706X0074, ajustement d'une loi Log-normale sur les niveaux moyens annuels

3.2.5. Tests statistiques sur les séries de niveaux moyens mensuels minimum année civile (HMNA)

Comme pour les niveaux moyens annuels, 14 piézomètres peuvent faire l'objet d'un traitement statistique.

Le Tableau 35 contient la moyenne des niveaux, l'amplitude de variation (maximum–minimum), l'autocorrélation d'ordre 1 (variable ro1) et le résultat du test de Mann-Kendall (exprimé par une p-value).

Sur ces 14 piézomètres, 2 présentent une tendance à la baisse significative au seuil de risque de 5 % (en rouge dans le tableau). L'autocorrélation est forte pour l'un de ces 2 piézomètres (en mauve dans le tableau).

L'analyse fréquentielle portera donc sur 12 séries de HMNA (comme pour les niveaux moyens annuels).

Piézomètre	Années	Manquantes	Moyenne (m)	Amplitude (m)	ro1	Pente (cm/an)	pvalue du test MK
00692X0062	35	3	196,51	1,33	0,255	-0,4	0,49435
01102X0025	39	3	165,38	0,48	0,212	0,1	0,73346
01116X0138	25	1	179,46	1,08	0,228	0,7	0,14325
01377X0205	41	2	229,54	8,17	0,339	-1,5	0,50009
01381X0069	47	4	154,03	0,9	0,602	1	0,01093
01381X0070	46	0	153,87	1,34	0,463	-0,2	0,50477
01937X0054	37	2	192,62	4,99	-0,014	0,4	0,9321
02653X0001	25	5	246,63	1,39	-0,412	1,3	0,18345
02663X0001	24	0	253,10	0,5	0,089	-0,5	0,33336
02706X0074	35	3	310,35	0,84	0,271	-0,7	0,14895
03027X0007	25	0	280,55	1,56	0,34	-0,4	0,79725
03057X0018	25	0	386,63	1,55	0,408	0	0,98137
03384X0037	29	1	341,82	5,47	0,39	7	0,04186
03415X0037	25	1	727,81	4,7	-0,024	-2,7	0,49526

Tableau 35 - Statistiques et tests sur les HMNA calculés sur 14 piézomètres de Lorraine

Les résultats des tests et les graphiques associés sont consultables dans le *dossier Lorraine* du CD joint au rapport (fichier *Graphiques_HMNA_Tests_et_Analyse_fréquentielle.pdf* en annexe 5 de ce dossier).

3.2.6. Analyse fréquentielle sur les séries de niveaux moyens mensuels minimum année civile (HMNA)

Seuls 6 ajustements globalement corrects (dont 4 sur la loi de Gumbel et 2 sur la loi Log-normale) ont pu être obtenus (Illustration 113 à Illustration 118) et Tableau 36.

Piézomètre	Nappe	Loi	Test KS	5 ans sec	10 ans sec	20ans sec
00692X0062 (Gespunsart)	Socle ardennais	Log-Normale	0,990	196,3	196,2	196,1
01116X0138 (Cléry-Le-Petit)	Calcaires oxfordiens	Gumbel	0,884	179,2	179,1	179,1
01377X0205 (Verneville)	Calcaires du Dogger des côtes de Moselle	Log-Normale (préférée à loi de Gumbel)	0,950	228,1	227,4	226,7
01381X0070 (Bertrange)	Alluvions de la Moselle en aval de la confluence avec la Meurthe	Gumbel	0,979	153,6	153,6	153,5
01937X0054 (Villers-en-Haye)	Calcaires du Dogger des côtes de Moselle	Gumbel	0,660	191,6	191,3	191
03027X0007 (Fréville)	Calcaires du Dogger du plateau de Haye	Gumbel	0,919	280,2	280,1	280

Tableau 36 - Résultats de l'analyse fréquentielle réalisée sur 6 séries de HMNA

Les écarts entre les valeurs des différentes périodes de retour sont faibles, voire nuls sur 4 piézomètres. Les écarts les plus importants se rencontrent au piézomètre de Verneville (70 cm) et de Villers-en-Haye (30 cm).

Les résultats de l'analyse fréquentielle et les graphiques associés sont consultables dans le dossier Lorraine du CD joint au rapport (fichier pdf en annexe_5 de ce dossier).

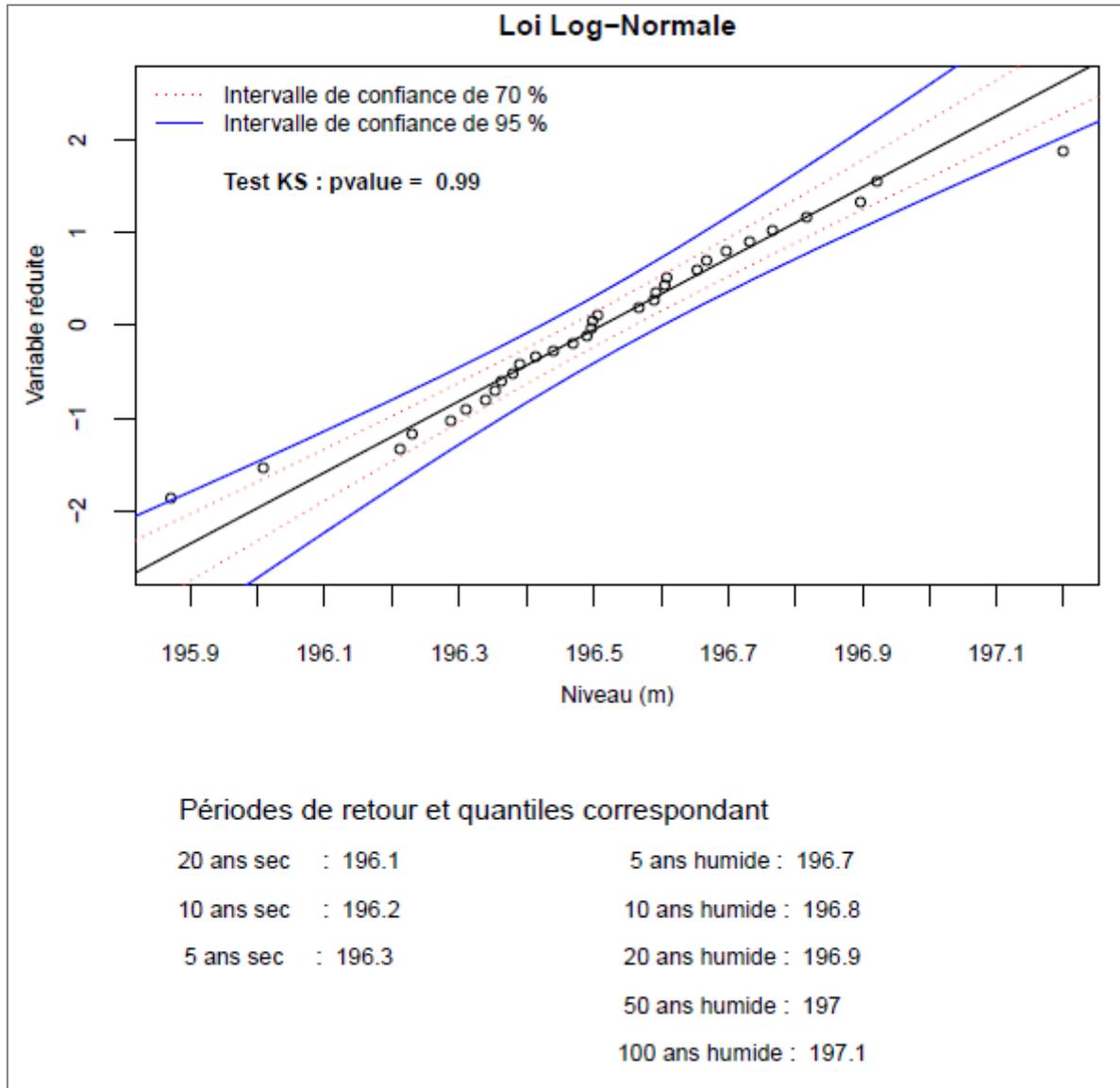


Illustration 113 - Piézomètre 00692X0062, ajustement d'une loi Log-normale sur les HMNA

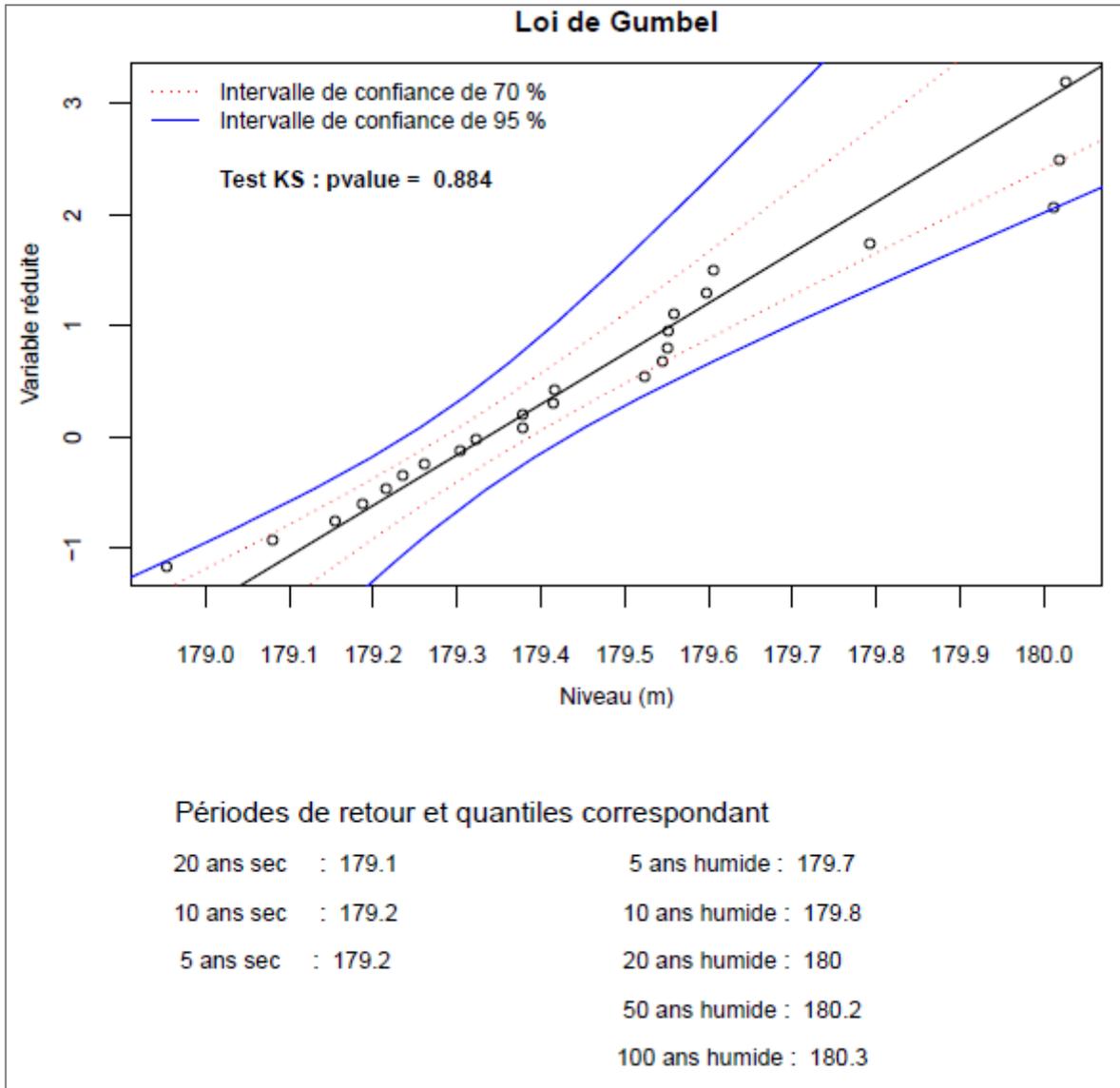


Illustration 114 – Piézomètre 01116X0138 : ajustement d'une loi de Gumbel sur les HMNA

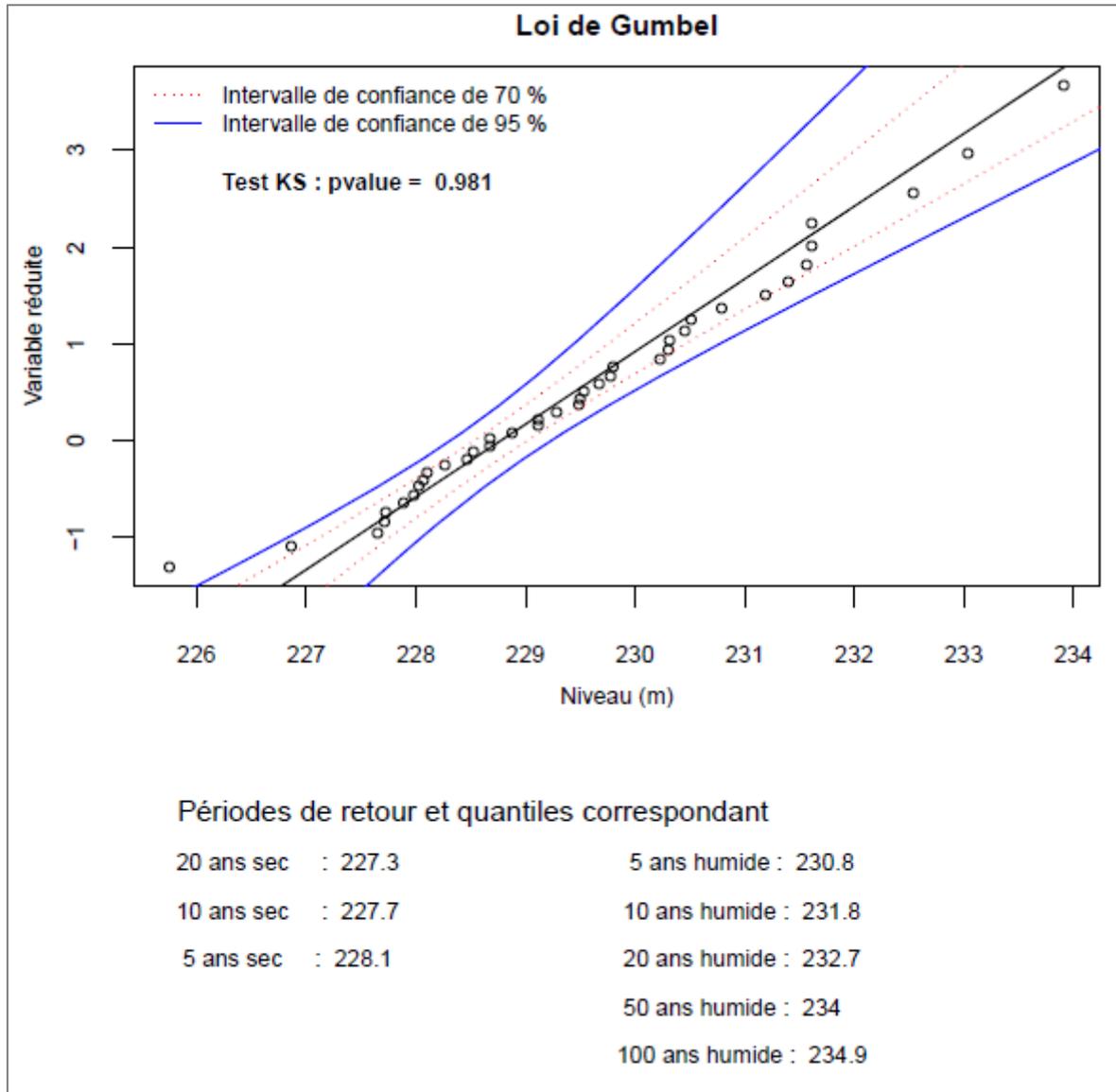


Illustration 115 – Piézomètre 01377X0205 : ajustement d'une loi de Gumbel sur les HMNA

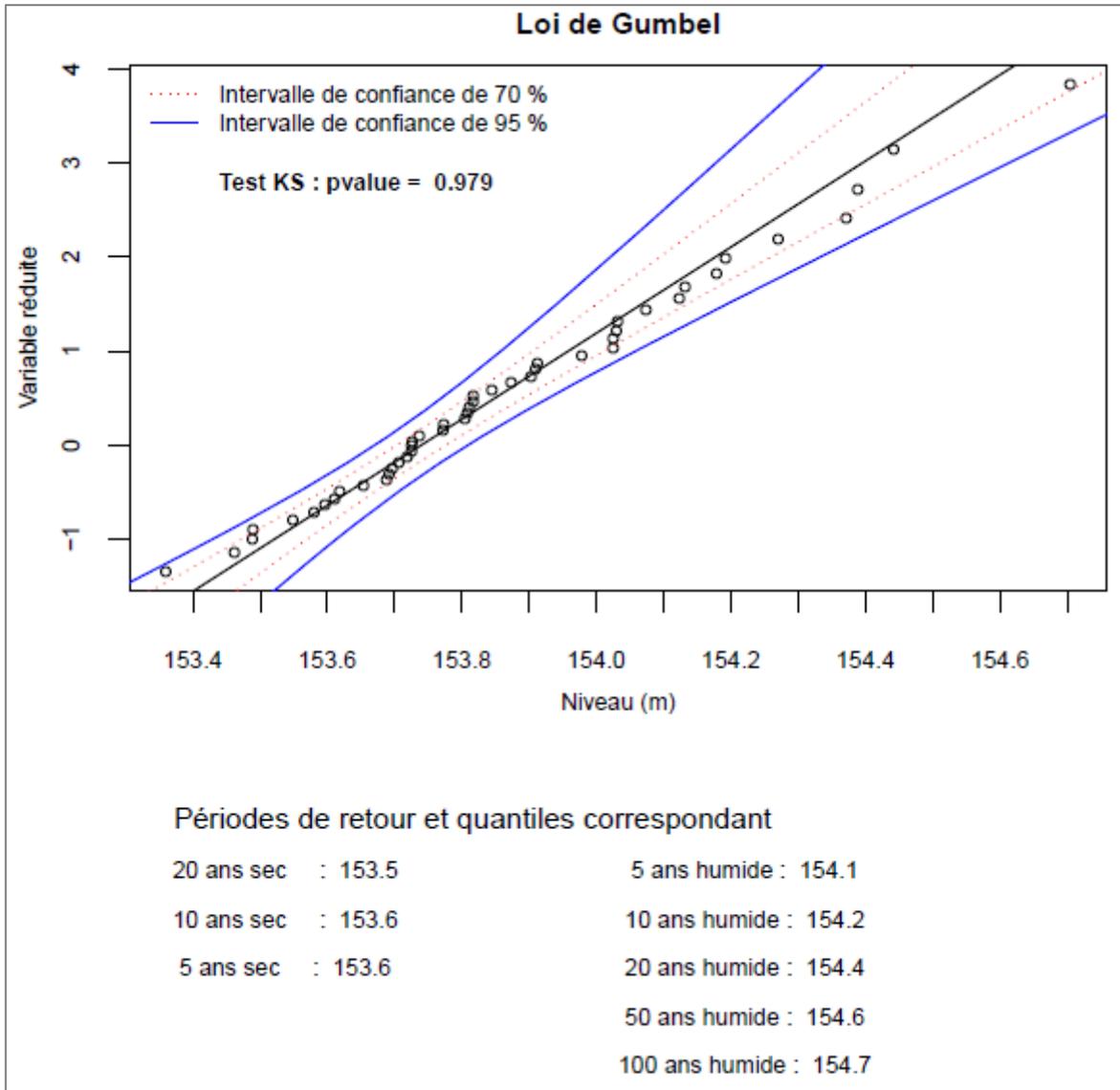


Illustration 116 – Piézomètre 01381X0070 : ajustement d'une loi de Gumbel sur les HMNA

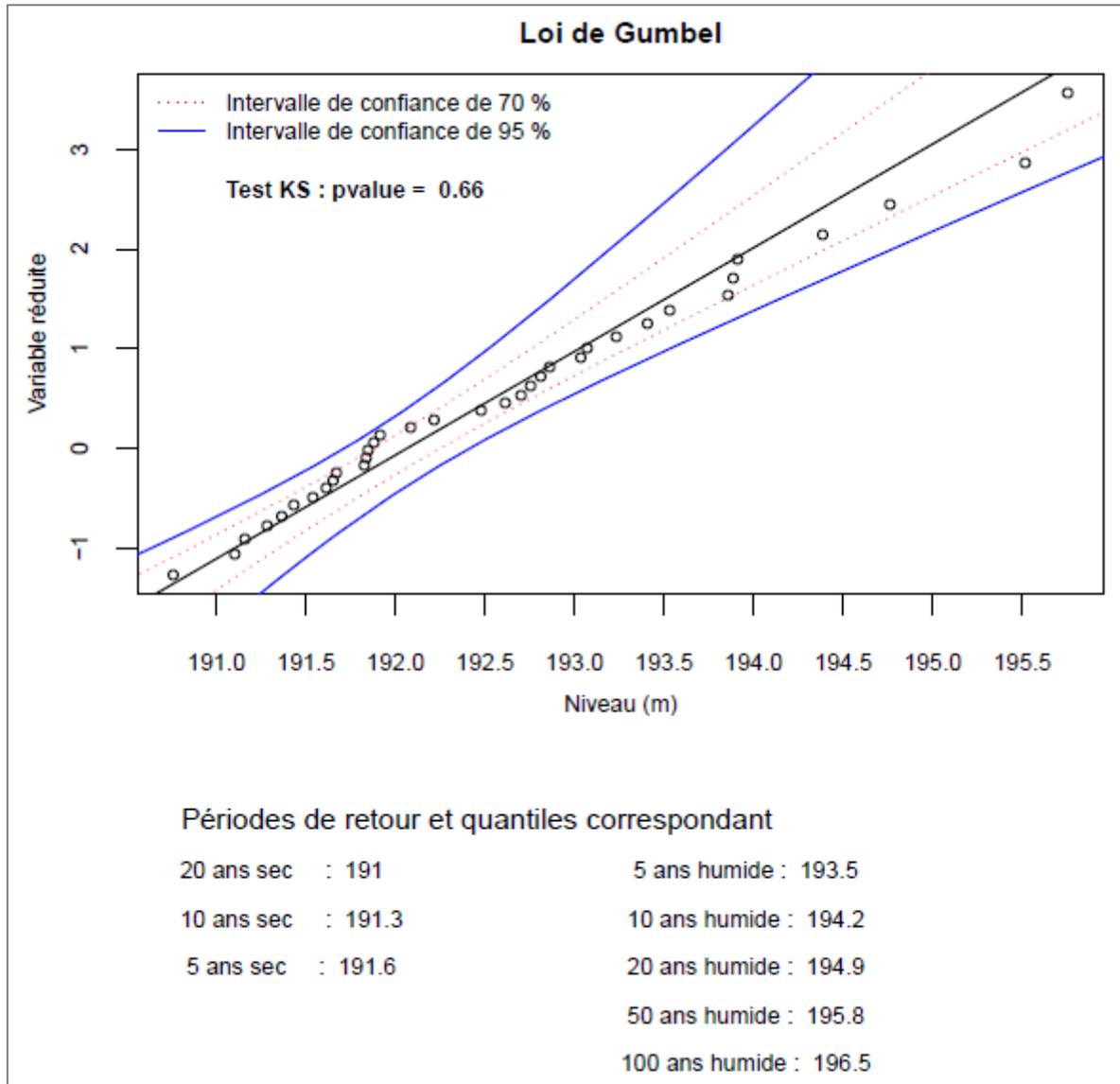


Illustration 117 – Piézomètre 01937X0054 : ajustement d'une loi de Gumbel sur les HMNA

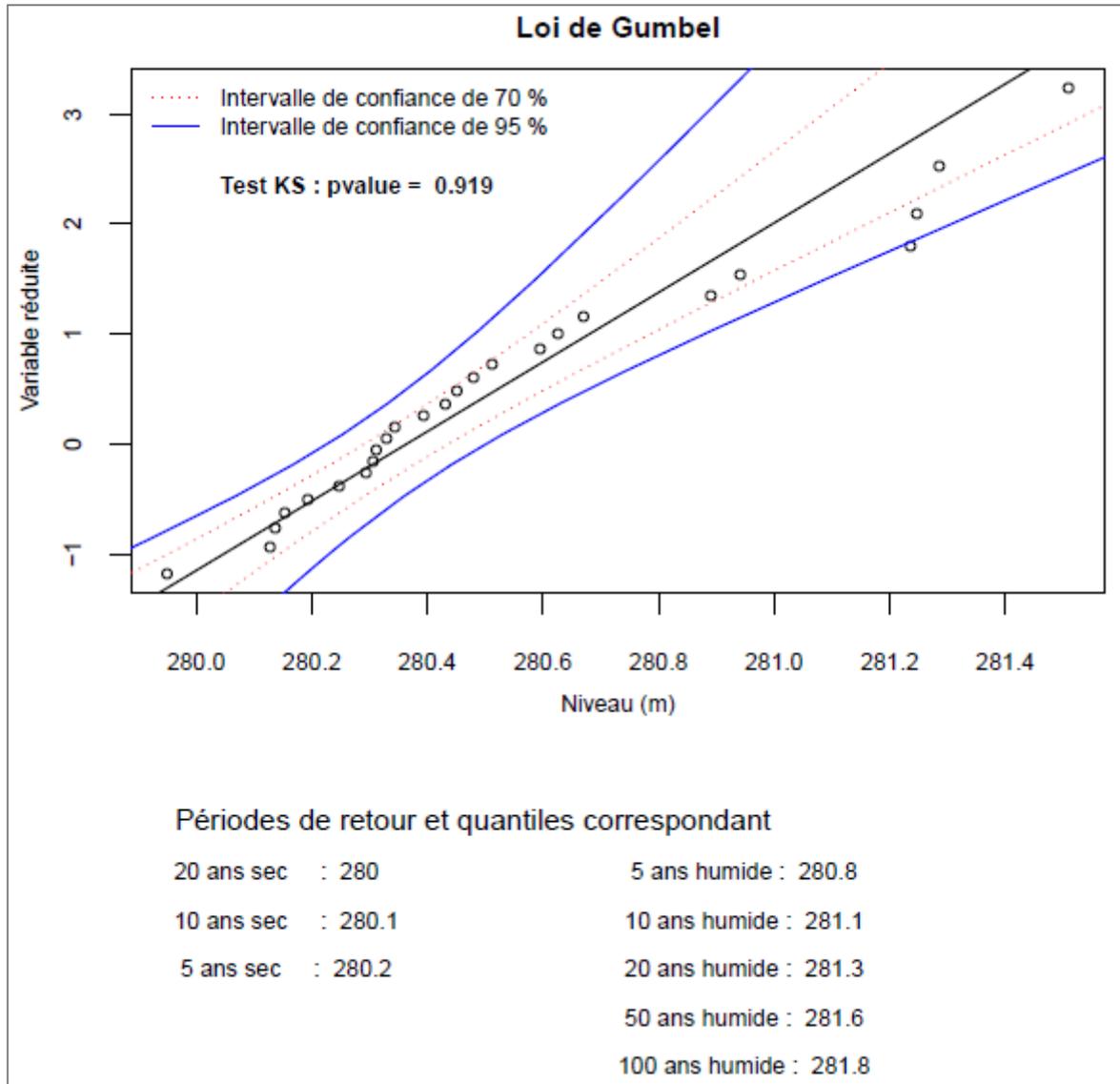


Illustration 118 – Piézomètre 03027X0007: ajustement d'une loi de Gumbel sur les HMNA

3.2.7. Quels seuils choisir : des valeurs de variables relatives à des minima ?

Comme pour le réseau de Champagne-Ardenne, on propose de **ne fixer que des seuils annuels** ce qui permettra de mieux rendre compte de l'état des nappes en période de récession et d'éviter les inconvénients des seuils mensuels notés précédemment.

3.2.7.1. Examen de quelques variables candidates

Pour les 19 piézomètres appartenant au réseau de suivi, on peut envisager les 4 possibilités suivantes :

- le HMNA5 (6 piézomètres seulement), niveau moyen mensuel minimum de période de retour 5 ans ;
- la moyenne des niveaux moyens mensuels minimum de chaque année (HMNA) ;
- la moyenne des minima relevés chaque année dans la chronique journalière ;
- le minimum absolu (seuil historique) relevé dans la chronique de mesures ou bien le minimum de la série des HMNA (qui en est très proche).

Les valeurs de ces différentes variables ont été reportées dans le Tableau 37 pour chaque piézomètre.

Dans ce tableau, on note la hiérarchie suivante (exception : piézomètre d'Essegney) :

Minima absolus < HMNA5 < Moyenne des minima annuels < moyenne des HMNA

Mais la moyenne des HMNA est parfois très proche de la moyenne des minima annuels, par exemple aux piézomètres de Brioules-sur-Bar, Cléry-le-Petit, Richemont, Ville-sur-Yron, Celles-sur-Plaine.

3.2.7.2. Représentations graphiques et choix possibles

Pour les 6 premiers piézomètres pour lesquels une analyse fréquentielle a été possible, on a reporté sur les graphiques d'évolution des niveaux (Illustration 119 et Illustration 120) :

- la moyenne des HMNA (ligne horizontale jaune) ;
- la moyenne des minima annuels (ligne horizontale orange) ;
- la valeur du HMNA5 (ligne horizontale mauve) ;
- le minimum des valeurs de la série des HMNA (ligne horizontale rouge).

La moyenne est représentée par une ligne horizontale verte.

Les graphiques relatifs aux autres piézomètres sont consultables dans le dossier *Lorraine* du CD joint au rapport (Annexe_6 : fichier *Graphiques_H_avec_seuils.pdf*).

3.2.7.3. Propositions

Pour les 6 piézomètres où le HMNA5 a été calculé, la définition de 3 seuils à partir des variables ci-dessus apparaît difficile tant leurs valeurs sont proches les unes des autres (à Fréville, le HMNA5 est confondu avec la moyenne des minima annuels).

Par contre, pour tous les piézomètres, on pourrait ne retenir que deux seuils : un seuil d'alerte qui serait la moyenne des HMNA et un seuil de crise qui serait le minimum de la série des HMNA, le seuil d'alerte renforcé étant peut-être superflu compte tenu des écarts parfois très faibles entre les valeurs de la moyenne et du minimum des HMNA.

Remarque : pour le piézomètre de Ville-sur-Yron (01632X0070), la période de forte remontée des niveaux au début de la chronique a été ôtée.

Code BSS	Commune	Minimum absolu	HMNA5	Moyenne des minima annuels	Moyenne des HMNA
00692X0062	Gespunsart	195,86	196,3	196,39	196,51
01102X0025	Brieules-sur-Bar	164,97		165,32	165,38
01116X0138	Clery-le-petit	178,91	179,2	179,429	179,46
01358X0035	Vacherauville	185,21		185,63	185,71
01372X0204	Mance	209,55		212,22	212,65
01377X0205	Verneville	225,54	228,1	229,39	229,54
01381X0069	Richemont	153,55		154,04	154,03
01381X0070	Bertrange	153,36	153,6	153,81	153,87
01632X0070	Ville-sur-Yron	179,47		181,58	181,56
01937X0054	Villers-en-Haye	189,96	191,6	192,15	192,62
02653X0001	Couvertpuis	244,61		246,03	246,62
02663X0001	Epiez-sur-Meuse	252,53		252,99	253,10
02706X0074	Celles-sur-Plaine	309,91		310,29	310,34
03027X0007	Fréville	279,57	280,2	280,24	280,55
03043X0056	Essegney	266,57		267,61	267,28
03057X0018	Grandvillers	385,84		386,54	386,63
03384X0037	Hareville	339,17		341,53	341,82
03415X0037	Xonrupt-Longemer	724,31		727,36	727,81
03771X0070	Gerardmer	665,86		667,68	668,60

En bleu, les piézomètres appartenant au réseau de suivi

Tableau 37 - Valeurs de différentes variables relatives à des minima sur 19 piézomètres de Lorraine

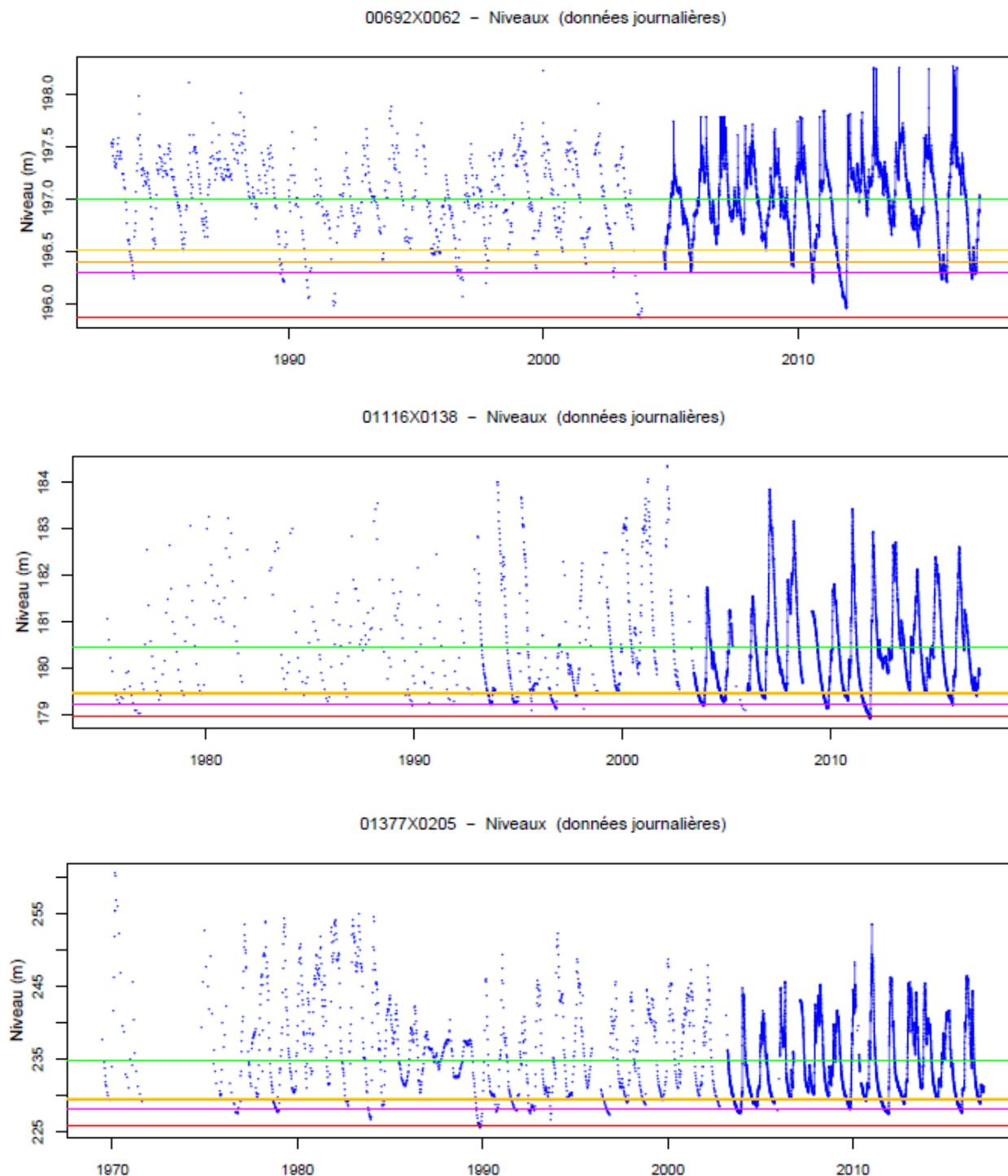
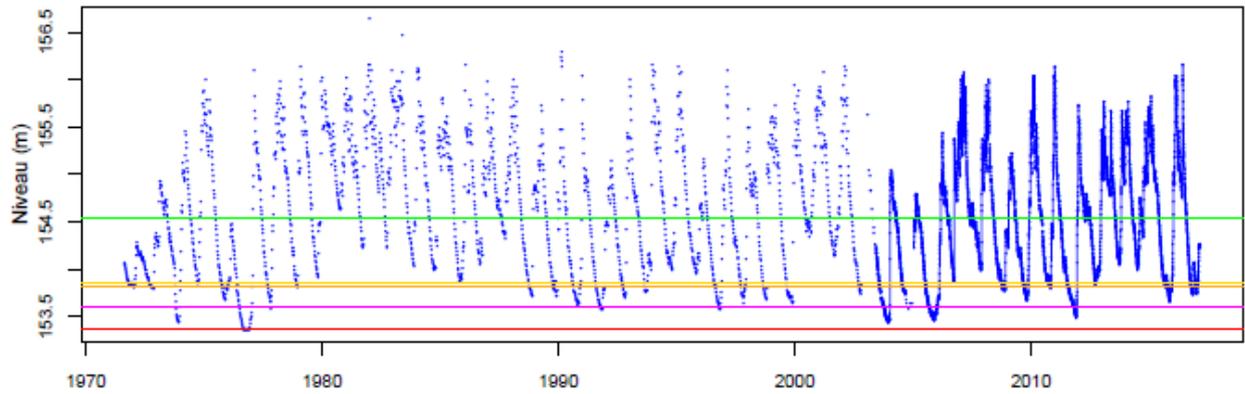
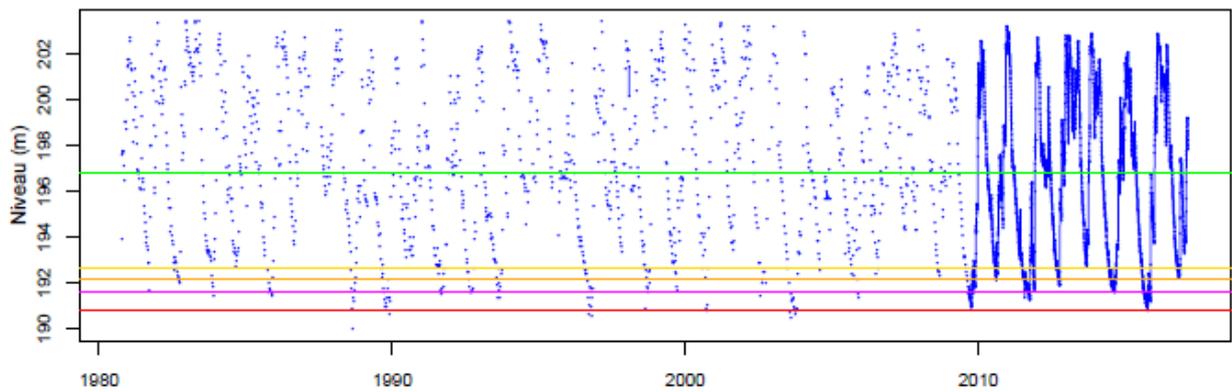


Illustration 119 - Report du minimum des HMNA (ligne rouge), du HMNA5 (ligne mauve), de la moyenne des minima de chaque année (ligne orange) et de la moyenne des HMNA (ligne jaune) aux piézomètres de Gespunsart, Cléry-le-Petit, Verneville



01937X0054 - Niveaux (données journalières)



03027X0007 - Niveaux (données journalières)

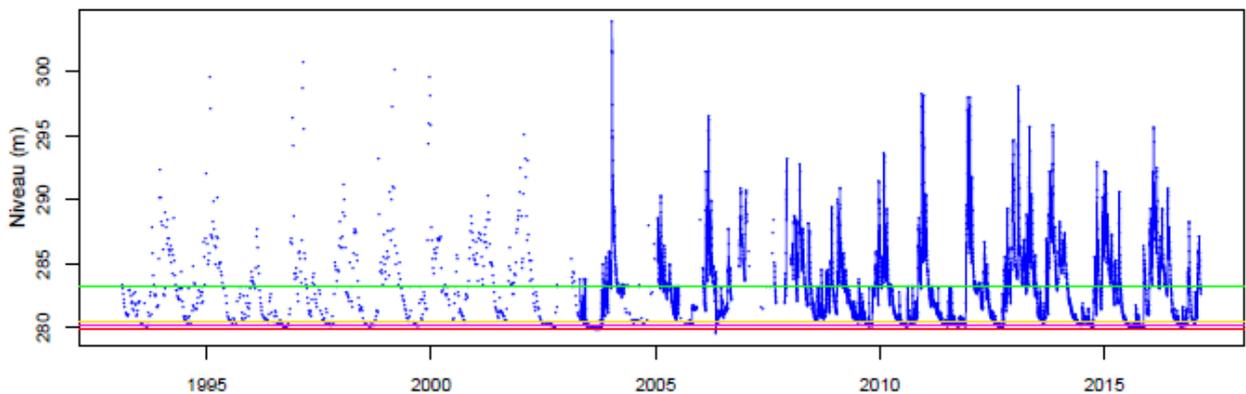


Illustration 120 - Report du minimum des HMNA (ligne rouge), du HMNA5 (ligne mauve), de la moyenne des minima de chaque année (ligne orange) et de la moyenne des HMNA (ligne jaune) aux piézomètres de Bertrange, Villers-en-Haye, Fréville

3.2.8. Quels seuils choisir : l'Indicateur Piézométrique Standardisé pourrait-il être utilisé ?

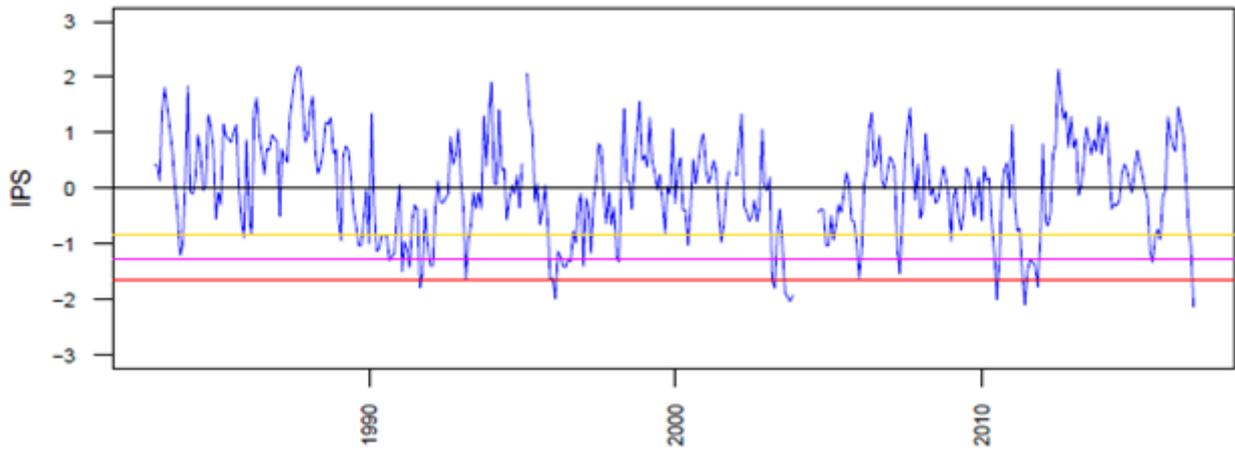
Les mêmes recommandations que celles faites pour le réseau de suivi sécheresse de Champagne-Ardenne peuvent être reconduites (cf. § 2.4.4.), en particulier la nécessité d'une étude de faisabilité.

A titre illustratif, on a reporté sur les graphiques ci-après (Illustration 121 et Illustration 122) les valeurs suivantes de l'IPS :

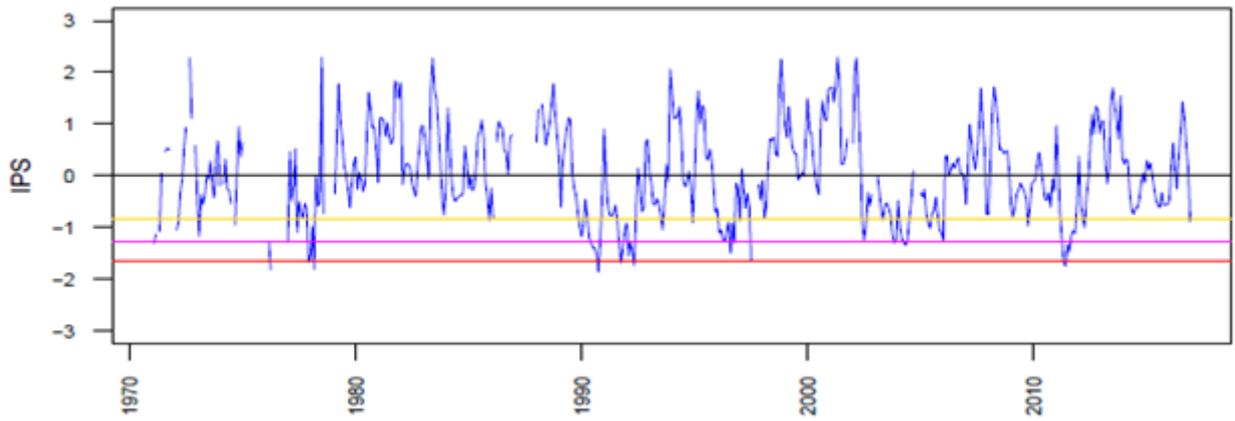
- -1,645 (ligne horizontale rouge), qui correspondrait à du vingtennal sec (valeur non prise en compte dans le BSH) ;
- -1,282 (ligne horizontale mauve), qui correspondrait à du décennal sec ;
- -0,842 (ligne horizontale jaune), qui correspondrait à du quinquennal sec.

Ces 3 valeurs pourraient jouer le rôle respectivement de seuil de crise, de seuil d'alerte renforcée et de seuil d'alerte.

Piézomètre 00692X0062



Piézomètre 01102X0025



Piézomètre 01372X0204

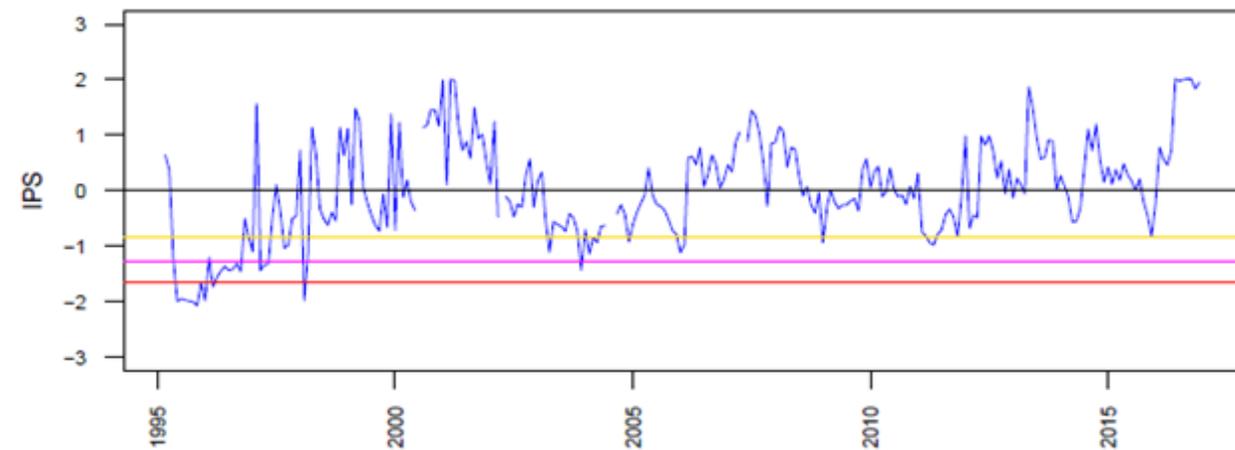
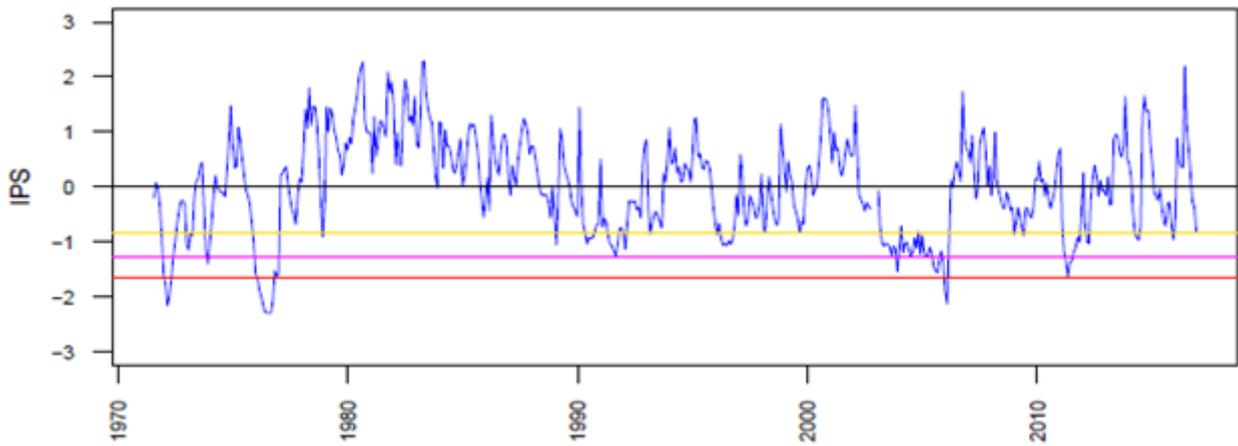
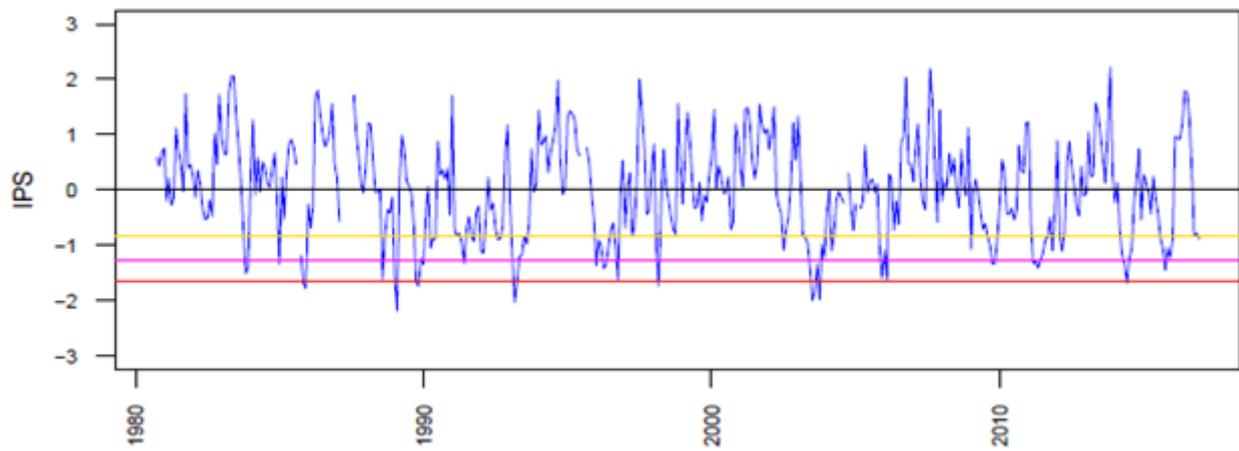


Illustration 121 – Variations de l'IPS aux piézomètres de Gespunsart, Brièules sur Bar et Mance

Piézomètre 01381X0070



Piézomètre 01937X0054



Piézomètre 02663X0001

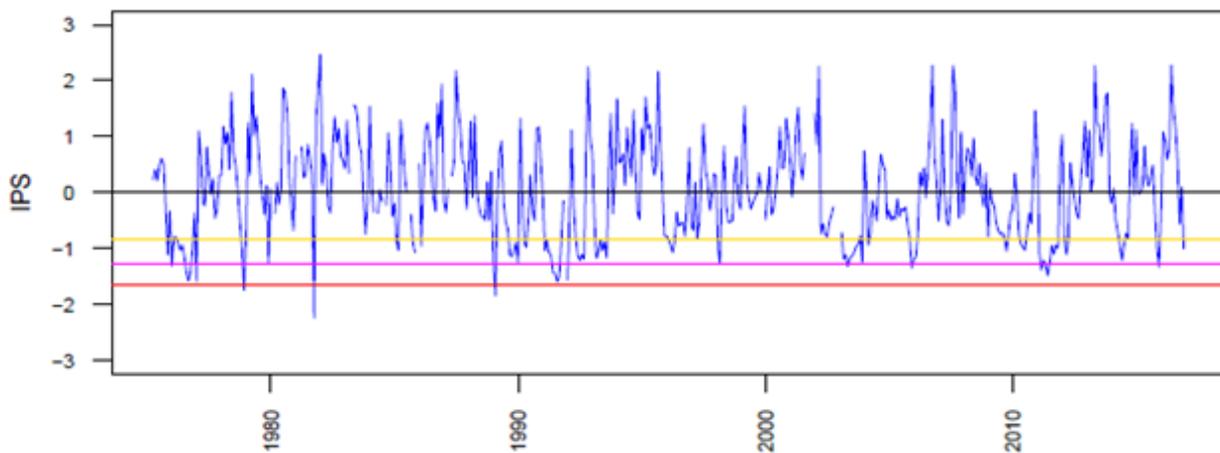


Illustration 122 – Variations de l'IPS aux piézomètres de Bertranges, Villers-en-Haye, Epiez-sur-Meuse

3.3. SYNTHÈSE

En Lorraine, la mise en œuvre du dispositif sécheresse est assurée via l'établissement de seuils débitmétriques annuels (pourcentages du QMNA5, VCN3) au droit de stations hydrologiques associées à des zones d'alerte, le bassin versant de la Meuse et de la Moselle et celui de la Sarre.

Ces deux bassins versants font l'objet de prélèvements en eaux souterraines (210 Mm³) et en eau de surface (115 Mm³), usages AEP et industriel en 2013. Une part non négligeable de ces prélèvements en eaux souterraines (usages AEP) se fait dans les nappes d'accompagnement (21,7 Mm³ et 14,4 Mm³ pour les alluvions de la Moselle en amont/en aval de la confluence avec la Meurthe) ou en relation avec les fleuves et rivières.

Les problèmes relevant de l'AEP au droit de communes du territoire, données fragmentaires, ne permettent pas de dresser précisément la vulnérabilité de la ressource. Toutefois l'étude « État de la vulnérabilité de la ressource en eau potable sur la région Lorraine suite à la sécheresse 2003 » (décembre 2003), propose une classification des communes présentant un risque de vulnérabilité de la ressource en s'appuyant sur différents critères (nappes vulnérables, nature des ouvrages de prélèvements, interconnexion du réseau). L'utilisation de sources, principal mode d'approvisionnement en eau potable dans les Vosges, est un point de vulnérabilité d'ordre géométrique et lié aux caractéristiques hydrodynamiques de ces aquifères.

Les secteurs à problèmes ont été identifiés par l'analyse des occurrences d'état de sécheresse des stations hydrométriques. La Moselle amont et la Moselle aval présentent un nombre de seuils franchis cumulés les plus conséquents (respectivement 156 et 109).

Les corrélations croisées entre débits des cours d'eau et niveaux piézométriques montrent que l'évolution des niveaux piézométriques et du débit est synchrone.

Sur les 74 piézomètres recensés sur ADES, 24 disposent de mesures assez longues, avant 2000. Des tests statistiques sur les séries de niveaux moyens annuels sur 17 piézomètres retenus montrent que 6 d'entre eux présentent une tendance à la baisse significative au seuil de risque de 5 % et 3 présentent une forte autocorrélation au bout d'un an. D'après ces résultats l'analyse fréquentielle ne peut porter que sur 13 piézomètres dont 5 présentent un ajustement correct. Cette démarche a été mise en œuvre pour la définition de niveaux moyens mensuels minimum (HMNA) sur 6 piézomètres.

Tel que cela a pu être observé en Champagne-Ardenne sur le niveau des nappes, l'évaluation de l'impact des restrictions mises en œuvre sur l'évolution du régime hydrologique des cours d'eau et le retour à une situation normale est complexe à évaluer étant donné sa dépendance à de nombreuses autres variables. Les mesures de restriction permettent de manière collective de limiter les prélèvements en eau et réserver son usage aux besoins primordiaux (AEP, notamment), toutefois les prélèvements non satisfaits ne sont pas connus.

4. Alsace

Concernant l'analyse des indicateurs sécheresses en Alsace (à l'exclusion de la nappe d'Alsace), une étude BRGM similaire a été réalisée en 2016 pour le compte de l'ARS :

- Baierer C., Mesquita-Muniz J., Giuglaris E. (2016) – Étude de la sensibilité à la sécheresse des ressources en eau dans les Vosges (versant alsacien). Rapport BRGM/RP-66696-FR.

Le lecteur pourra se reporter à ce rapport pour une consultation intégrale de l'étude. Ci-après, ont été extraits le contexte, la problématique, le cadre réglementaire, les données existantes et les éléments d'analyse de la sécheresse ainsi que les principales conclusions de cette étude. Pour faciliter la lecture avec le rapport d'origine plus complet, les titres des chapitres ont été conservés. En caractères gras ont été soulignés les passages importants.

4.1. CONTEXTE ET PROBLÉMATIQUE

L'étude réalisée en Alsace s'inscrit dans un objectif général de prévention des risques de pénuries au niveau des captages AEP du Massif Vosgien, notamment son versant alsacien, lors d'épisodes de sécheresse.

Le Massif Vosgien présente une variété de roches cristallines et sédimentaires d'âge primaire, plus ou moins métamorphisées, avec chacune des caractéristiques hydrogéologiques propres. **L'Alimentation en Eau Potable (AEP) des communes implantées sur le Massif Vosgien versant alsacien est principalement assurée par le captage de sources.** Ces sources présentent majoritairement de faibles débits, mais les multiples émergences captées sur les communes constituent un apport suffisant pour la population du secteur en période normale.

Cependant, **les aquifères du socle du Massif vosgien ne semblent disposer que de faibles réserves en eau**, les rendant fortement dépendants des variations pluviométriques saisonnières. Ainsi, la période de sécheresse de l'année 2003 et, dans une moindre mesure, de l'été 2011 et enfin récemment en 2015 ont montré la sensibilité des captages AEP pendant les périodes de stress hydrique. Au cours de ces années, des problèmes d'alimentation en eau potable ont eu lieu sur certains secteurs des vallées vosgiennes, ayant impliqué la prise de mesures et très localement la rupture de l'alimentation.

En période de sécheresse, et afin d'identifier les mesures à mettre en œuvre, les services de l'Etat souhaitent connaître et anticiper l'état des ressources en eau et les risques par secteur ou par vallée. **Il existe actuellement un seul indicateur de suivi quantitatif des eaux souterraines dans les Vosges versant alsacien, comptant un seul point de mesure.** Il s'agit d'une source située dans le bassin versant de la Fecht, dont le suivi a été mis en place en 2014 dans le cadre du suivi quantitatif DCE de la masse d'eau côté alsacien. **Les sources peuvent cependant faire l'objet de suivis locaux par les producteurs d'eau. Des suivis des débits des cours d'eau sont également effectués par la DREAL.**

C'est dans ce contexte que les Agence Régionales de Santé (ARS) 67 et 68 ont fait appel au BRGM, afin d'étudier la **sensibilité à la sécheresse des ressources en eau dans les Vosges, sur le versant Alsacien**. Ces travaux ont été co-financés par l'ARS et le BRGM dans le cadre d'une convention de recherche et développement partagée signée par les 2 parties le 8 avril 2015.

4.2. PÉRIMÈTRE D'ÉTUDE

La délimitation du périmètre d'étude a été faite sur des critères hydrogéologiques et géographiques (Illustration 123). La zone délimitée correspond à un extrait de la masse d'eau FRCG003 « Socle vosgien » définie dans le cadre de la BDRHF v1 et de la BD-LISA et du suivi DCE (2000/60/CE).

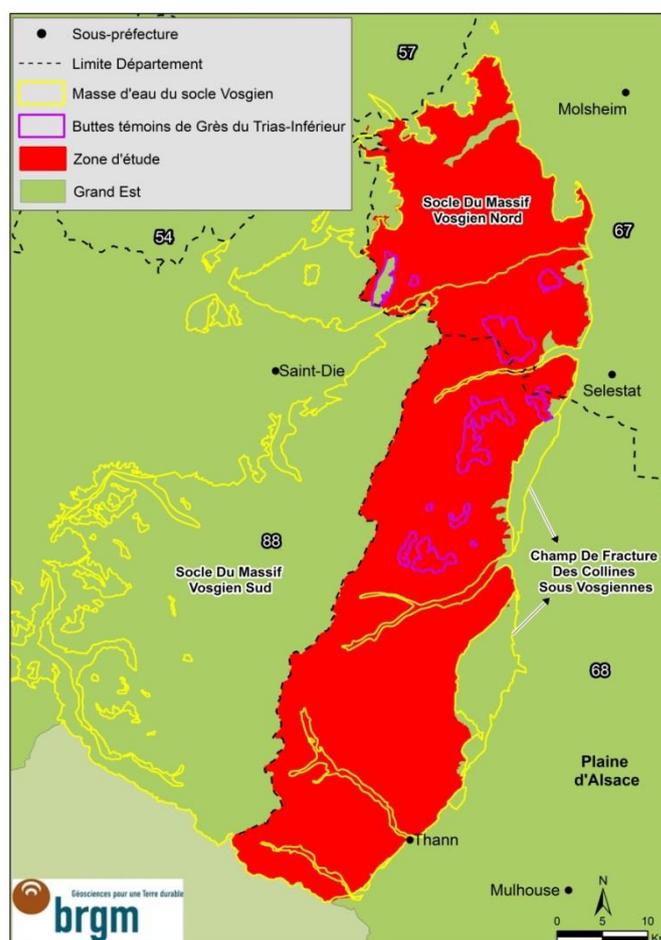


Illustration 123 - Carte de délimitation hydrogéologique du périmètre d'étude

4.3. OBJECTIFS

Le programme technique du projet « Étude de la sensibilité à la sécheresse des ressources en eau dans les Vosges (versant alsacien) » est structuré en quatre axes de travail :

1. Un recensement et une analyse des données disponibles ;
2. Les travaux de recherche du Lhyges caractérisant un mode de fonctionnement hydrogéologique sur un sous-bassin versant de la Fecht ;
3. Un retour d'expérience des sécheresses de 2003, 2011 et 2015 ;
4. Des éléments sur la définition d'indicateurs complémentaires et la définition d'ouvrages "sentinelle sécheresse".

Le travail de synthèse des données s'est révélé complexe en raison de la diversité des acteurs, des bases de données et de l'hydrogéologie locale. En soulevant des problématiques d'échelle, d'hétérogénéité ainsi que de données parcellaires, il a alimenté les réflexions, sans toutefois permettre l'établissement de liste d'ouvrages sentinelles.

4.4. CONTEXTE HYDROGÉOLOGIQUE

La zone d'étude correspond à la masse d'eau « Socle Vosgien » selon le référentiel de la directive cadre sur l'eau européenne. Cette entité hydrogéologique est recouverte localement par des alluvions et des lambeaux de formations sédimentaires du permien (« chapeaux de grès du Permien »). Il en résulte un contexte hydrogéologique du secteur marqué par trois typologies particulières d'aquifères :

- les aquifères de socle comprenant un système complexe de zones d'aquifères libres, en lien avec le développement d'une zone fissurée du socle altéré ainsi que les zones de fracturation ou discontinuités lithologiques. Les fractures peuvent toutefois être colmatées en fonction des éventuelles néoformations de minéraux, puis de la dissolution de ceux-ci. Les propriétés hydrodynamiques de ces aquifères sont ainsi contrôlées par les conditions géologiques locales (minéralogie, texture, schistosité ou foliation) ;
- les alluvions accompagnant les cours principaux cours d'eaux. Les zones favorables se situent généralement en aval où à la faveur des méandres ou confluence créant des zones de dépôts, principalement dans la zone aval. La partie amont est principalement constituée de couches de limons tandis que la partie aval a permis des dépôts de types sable et graviers à la faveur de la topographie ;
- les buttes de grès (série du Permien), reliquats d'érosion, présentant un fonctionnement hydrogéologique propre.

4.5. ÉVALUATION DE LA RÉSISTANCE A LA SÉCHERESSE

La sensibilité (ou la résistance) des eaux souterraines au déficit d'alimentation en eau dépend de la nature même de l'aquifère (libre, captif, superficiel, profond), de ses paramètres hydrodynamiques intrinsèques, de son extension et son épaisseur ainsi que de ses relations aux eaux de surfaces (relation nappe-rivière, surface d'alimentation). Sur le secteur d'étude, les aquifères sont constitués soit d'alluvions, soit d'aquifères de socle.

4.5.1. Cas des alluvions

Les aquifères libres situés dans les fonds de vallée ou adjacents aux principaux cours d'eau sont directement impactés en cas de sécheresse. L'état des nappes est directement lié à celui du cours d'eau avec une forte dépendance à la pluviométrie ou à la couverture neigeuse.

A cette description générale peut s'ajouter dans le cas du **socle vosgien des relations avec les aquifères de socle sous-jacents**.

Ces relations sont particulièrement à analyser dans les zones de fond de vallée où les nappes peuvent être alimentées, en plus des eaux superficielles, par les exutoires des circulations profondes du bassin versant. Les alluvions de ces zones peuvent constituer des zones de captages privilégiées (par forage ou puits).

4.5.2. Cas des aquifères de socle

Les aquifères de socle sont des aquifères composites et discontinus. Ils se caractérisent principalement par une perméabilité de fissures et de fractures. En raison de l'importante variabilité spatiale de leurs propriétés hydrodynamiques, de leurs faibles perméabilités et porosités, et de leurs conditions d'alimentation principalement par les précipitations, ils sont généralement très **peu résistants à la sécheresse**, comparativement aux grands ensembles aquifères de type alluviaux, sédimentaires, et karstiques prolongé (Seguin J.J., Wuilleumier A., 2006). Ils le seront d'autant plus du fait du caractère **compartimenté** de ces aquifères (longueur des fissures d'altération de l'ordre de 5 à 40 m en moyenne, « fermeture » des fractures tectoniques du fait de l'augmentation de la pression des terrains avec la profondeur), le plus souvent largement érodés et entaillés profondément par les cours d'eau dans lesquels ils se vidangent.

4.6. CADRES RÉGLEMENTAIRES ET RÉSEAUX DE SUIVI

4.6.1. Arrêté cadre sécheresse

Suite à la sécheresse de 2003 et aux difficultés rencontrées au niveau national, deux arrêtés cadres départementaux (Haut Rhin et Bas Rhin) ont été définis en 2004. Ces arrêtés définissaient différents seuils utilisant les QMNA2, QMNA5 et 10ème du module des différents cours d'eau suivis. Ces différents seuils étaient respectivement associés à une situation de vigilance, d'alerte, d'alerte renforcée et de crise.

Ces seuils ont été révisés et ajustés en 2012. Le suivi actuel de l'état de sécheresse se fait actuellement selon l'arrêté-cadre inter préfectoral du 26 juillet 2012, relatif à la mise en place de principes communs de vigilance et de gestion des usages de l'eau en cas de sécheresse ou de risque de pénurie dans les bassins-versants du Rhin Supérieur.

Cet arrêté cadre définit 5 zones d'alertes, regroupant des bassins versants selon leur sensibilité à la sécheresse et considérés comme des unités hydrographiques cohérentes. A ces zones, s'ajoutent 3 zones d'alertes avec soutien d'étiage.

Le tableau suivant rassemble les différents seuils sécheresse des stations hydrologiques.

Station de mesure	Module	Vigilance	Alerte	Alerte renforcée	Crise
ALTKIRCH	2.45	0.55	0.35	0.3	0.25
FRIESEN	1.13	0.3	0.25	0.18	0.11
DIDENHEIM	6.5	1.1	0.8	0.725	0.65
LINTHAL	0.89	0.19	0.15	0.125	0.1
STOSSWIHR	1.38	0.3	0.205	0.175	0.15
WINTZENHEIM-LA FORGE *		0.75	0.55	0.455	0.4
LAPOUTROIE	0.98	0.2	0.16	0.13	0.1
LIEPVRE	1.95	0.27	0.2	0.165	0.13
THANVILLE	1.52	0.11	0.08	0.06	0.04
ANDLAU	0.83	0.19	0.145	0.115	0.08
RUSS (WISCHES)	6.05	1.3	1.05	0.925	0.8
SOULTZ les BAINS	1.4	0.48	0.38	0.26	0.14
WALTENHEIM	5.95	2.1	1.65	1.425	1.1
SCHWEIGHOUSE	5.7	2.5	2.1	1.8	1.1
BEINHEIM	3.7	1.2	0.95	0.8	0.6
NIEDERROEDERN	1.65	0.21	0.13	0.115	0.09
WISSEMBOURG-WEILER	2.6	1.55	1.3	0.9	0.26
LAUTERBOURG	1255	780	650	460	254

* Arrêt du suivi en 2007, remplacée par la station de Wihr-au-Val sur la Fecht

Tableau 38 - Seuil de déclenchement des différents niveaux d'alerte aux stations hydrologiques (arrêté cadre interdépartemental de 2012)

4.6.2. Réseau de suivi quantitatif de la masse d'eau Socle vosgien versant alsacien

La Directive Cadre européenne sur l'Eau (Directive 2000/60/CE) vise à assurer la surveillance de l'état qualitatif et quantitatif des eaux souterraines. La surveillance de l'état quantitatif des eaux souterraines s'appuie sur un réseau opérationnel mis en place par la Direction de l'eau du Ministère en charge de l'environnement. La zone d'étude est concernée par le réseau " 0200000077 – Réseau de suivi quantitatif des eaux souterraines de la région Alsace" sous la maîtrise d'ouvrage du BRGM.

Dans ce réseau, un seul point est actuellement utilisé pour la surveillance de l'état quantitatif de la masse d'eau FRCG003 « Socle vosgien ». Il s'agit de la source d'indice national [03773X0086/HY](#) (source Sprenglerbrunnen) qui a été équipée en décembre 2013. Cette source est située dans les alluvions sur la commune de Mittlach, dans le bassin versant de la Fecht.

Les autres bassins versants de la zone d'étude ne bénéficient pas de suivi dans le cadre de la DCE ou des "comités sécheresse".

4.7. SYNTHÈSE DES DONNÉES EXISTANTES SUR LE SECTEUR D'ÉTUDE

4.7.1. Données BSS et BSS EAU

Sur la zone de socle vosgien, **les sources constituent la majorité des points d'eaux recensés**. Dans l'emprise de la zone d'étude, selon la BSS, il existe 1735 sources, dont 102 sources non classifiées, 1330 sources classifiées comme captées (soit 76 %) et 303 sources classifiées comme non-captées (Illustration 124).

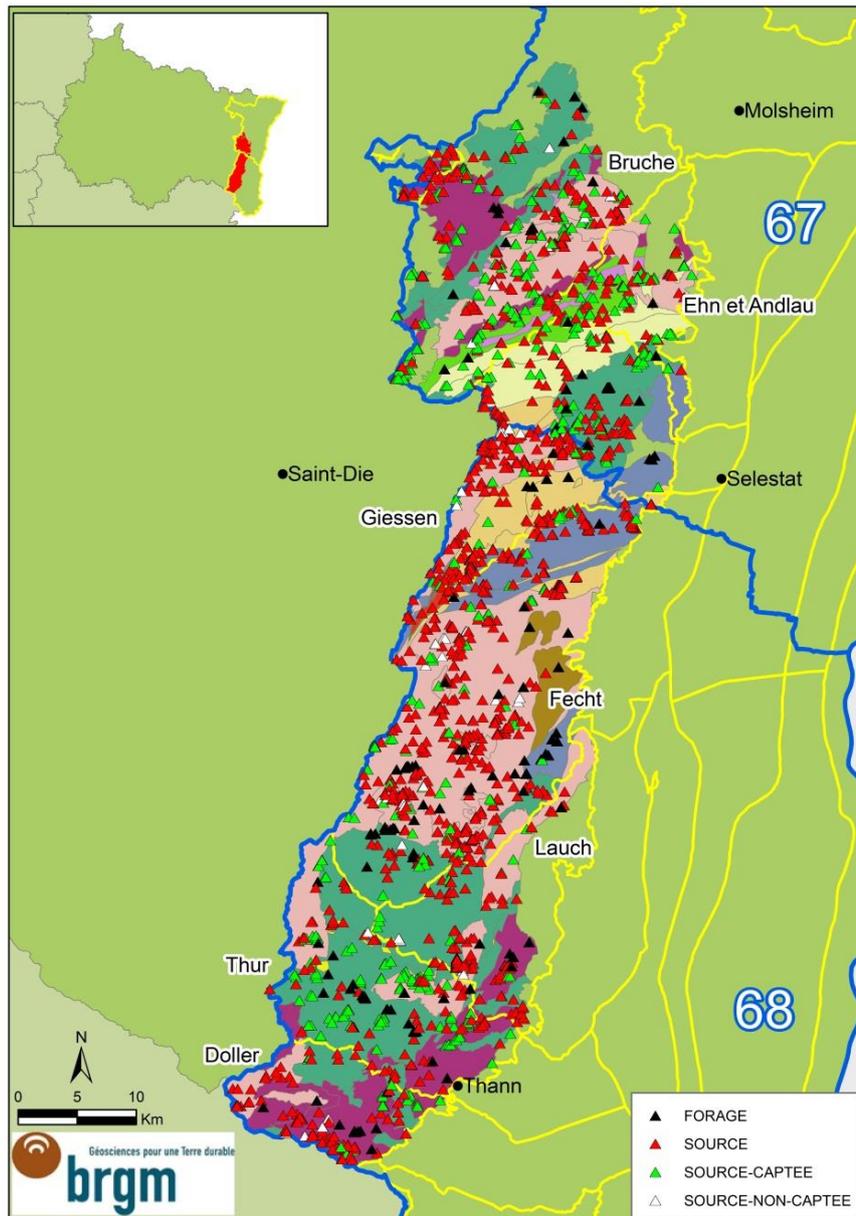


Illustration 124 - Points d'eau recensés dans la BSS par grandes unités lithologiques

4.7.2. ADES

Sur le socle Vosgien deux types de données sont disponibles :

- les ouvrages de suivi : une grande partie des ouvrages BSS eau sont bancarisés dans ADES en raison de données sur la qualité de l'eau (1050 points). Par contre très peu de points d'eau sont bancarisés sur les aspects quantitatifs, faute de suivi. Le seul point rattaché à l'entité socle vosgien d'un point de vue quantitatif est le point de suivi DCE est la source Spenglerbrunnen située dans la vallée de la Fecht ;
- la base de données SISE-Eaux (Système d'Information des Services Santé-Environnement Eau). Cette base concerne les eaux souterraines destinées à la consommation humaine. Il s'agit d'un système intégré constitué d'une base nationale alimentée par des bases réparties par département et gérées localement par les services Santé-Environnement au sein des DTARS. En sus des données de qualité des eaux, des données de débits réglementaires sont associées à chaque ouvrage. Dans cette base de données, 1025 captages potentiellement exploités sont recensés début 2017 dont **972 sont des sources (95 %)**.

Les débits réglementaires correspondent généralement aux débits autorisés lors de la mise en exploitation des ouvrages. Cette valeur est donc généralement fournie par des études hydrogéologiques (avis de l'hydrogéologue agréé, bureau d'étude) ou des caractérisations de l'ouvrage réalisé (essais de débits, mesures à la date de réalisation de l'ouvrage). Les débits réglementaires peuvent donc constituer un premier indice de la productivité des ressources en eaux souterraines à l'échelle de la zone d'étude. Ces données sont présentées ci-après par bassin versant.

4.7.3. Données sur les prélèvements

Dans un cadre général, les volumes prélevés sur le milieu naturel (eaux souterraines et eaux superficielles) sont soumis à redevance pour un volume prélevé supérieur à 10 000 m³ par an. Selon les données de l'année 2012, 177 points de prélèvement d'eau sont présents. Ils sont majoritairement destinés à l'AEP. La répartition des prélèvements par bassin et usage et présentée au Tableau 39 :

	Année	Bruche	Ehn et Andlau	Giessen	Fecht	Lauch	Thur	Doller	Total
AEP (Mm3/an)	2012	1.80	0.96	1.58	3.21	1.10	2.24	0.50	11.39
	2013	1.44	1.13	1.44	3.06	0.99	1.78	0.51	10.35
Industrie (Mm3/an)	2012	1.62	1.04	1.51	3.13	1.04	2.01	0.51	10.87
	2013	0.20	0.01	0.27	4.38	0.13	9.77	0.88	15.62

Tableau 39 - Prélèvements sur la zone de socle. AERM, 2012 et 2013

La distribution des prélèvements en 2012 (Illustration 125) entre l'usage AEP et industriel est comparable pour chaque bassin versant, totalisant 22,2 Mm3 en 2012 et 26 Mm3 en 2013.

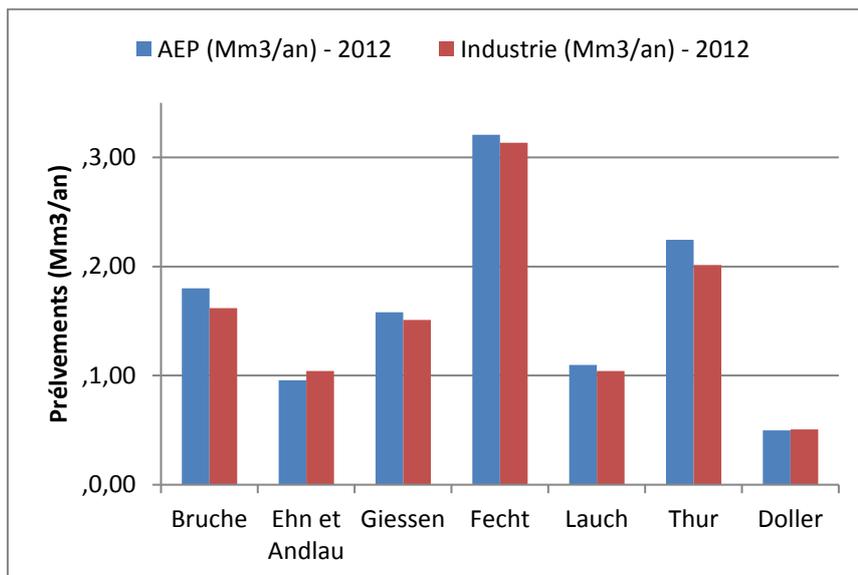


Illustration 125 - Prélèvements AEP et industriel sur la zone de socle en 2012 (source : AERM)

4.7.4. Données de suivi des cours d'eau (Banque Hydro)

Le suivi des cours d'eau est réalisé par des stations de suivi disposées sur les principaux cours d'eau. Il correspond notamment au réseau de suivi de la DREAL.

Les stations de suivi hydrométrique de la Banque Hydro disponibles sont reportées sur la carte de l'illustration 126. Les données hydrométriques constituent en certains endroits les seules chroniques disponibles.

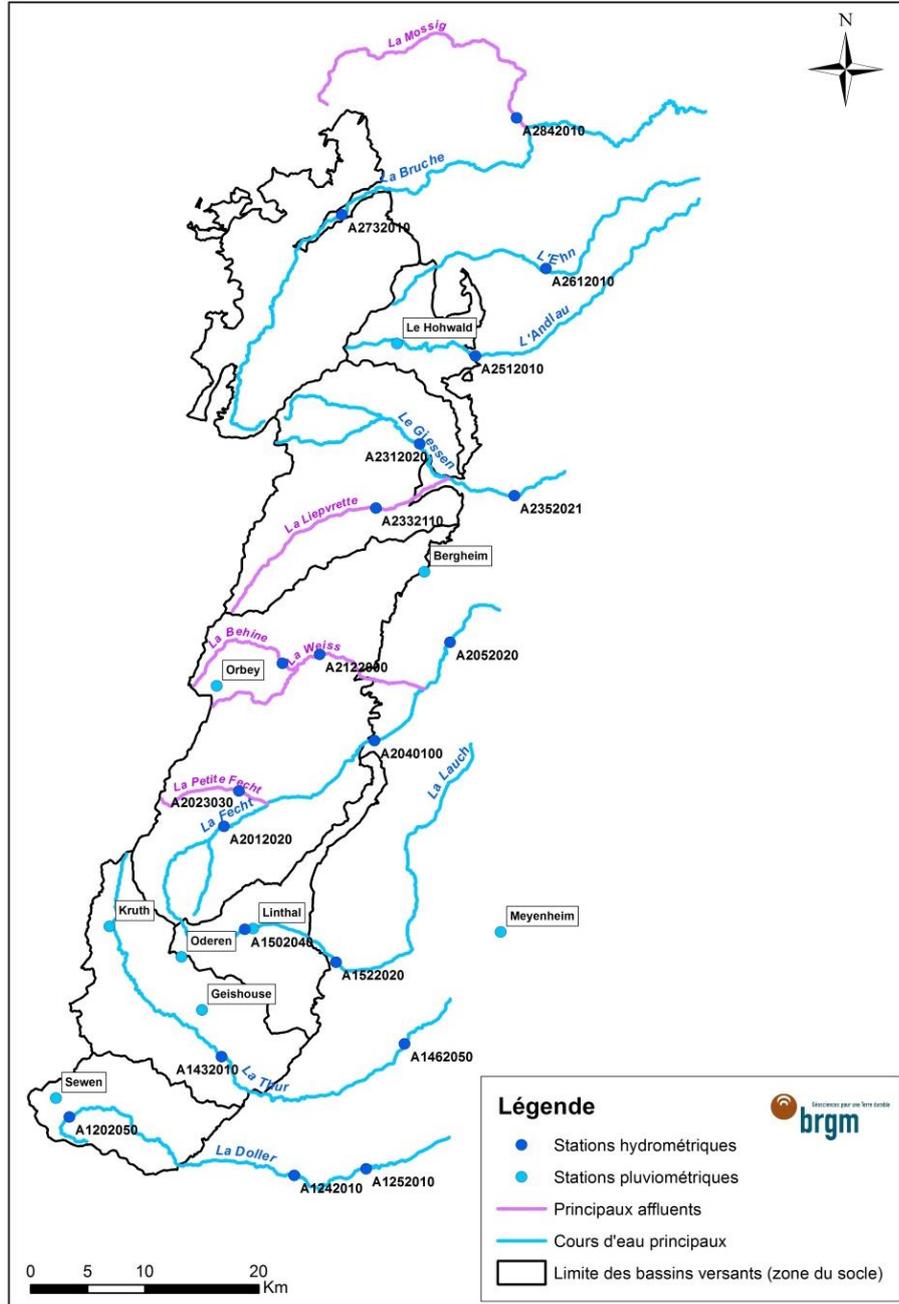


Illustration 126 - Stations hydrométriques et météorologiques (météo France) disposant de chroniques sur la période 2000 - 2016 présentes sur la zone d'étude

4.7.5. Arrêtés préfectoraux

La carte de l'illustration 127 permet de visualiser la récurrence des arrêtés préfectoraux sur la zone d'étude entre 2003 et 2015.

On remarque notamment que la totalité du bassin versant du Giessen, de l'Enh et de l'Andlau ainsi que la partie aval de la Lauch présentent un nombre d'arrêtés supérieur aux 3 principales sécheresses que sont 2003, 2011 et 2015.

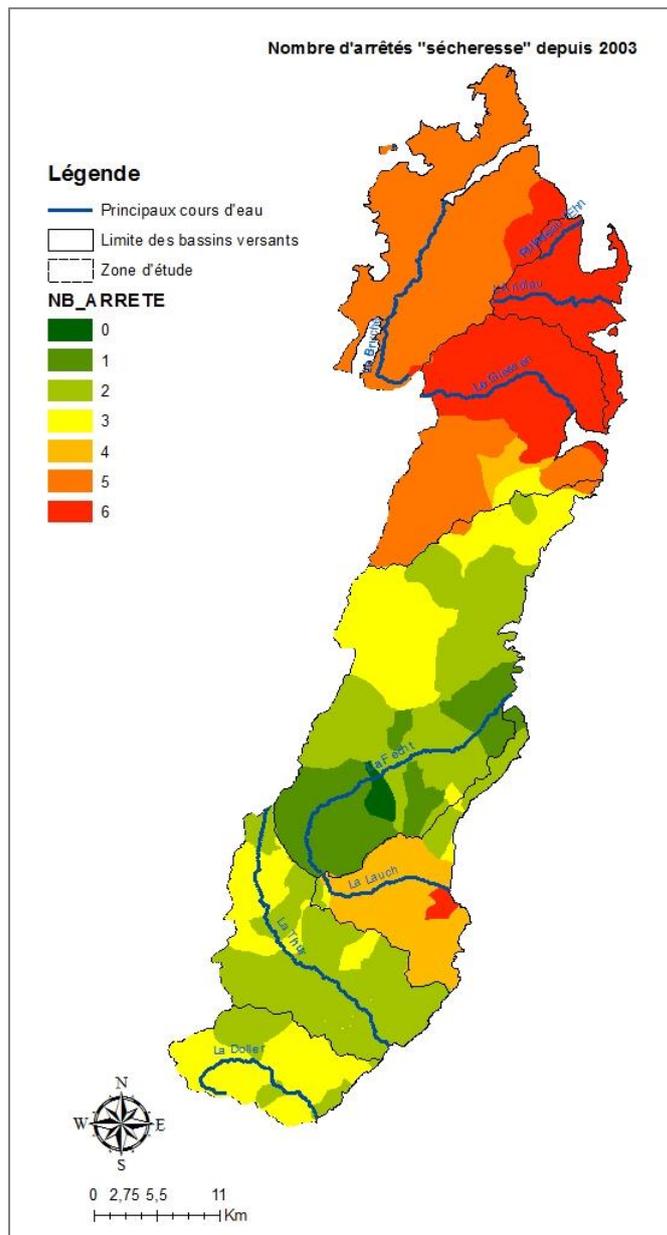


Illustration 127 - Nombre d'arrêtés préfectoraux impactant une commune depuis 2003

4.8. ÉLÉMENTS D'ANALYSE DE LA SENSIBILITÉ A LA SÉCHERESSE DES RESSOURCES EN EAU SOUTERRAINE

Le sous-bassin versant de la Fecht , le Strengbach (Illustration 128) , a été étudié du point de vue de son fonctionnement hydrologique. Il s'agit d'un bassin expérimental qui bénéficie de données de suivi (météorologie, hydrologie, géochimie) depuis 1986. Ce bassin et celui du Ringelbach situé sur la commune de Soutzeren constituent deux sites de recherche importants pour l'amélioration des connaissances sur les fonctionnements hydrologiques et hydrogéologiques dans le massif vosgien.



Illustration 128 - Localisation du ruisseau du strengbach et de la commune de Sultzeren

Les débits moyens journaliers à l'exutoire du bassin ainsi que le débit cumulé des 4 sources (une valeur hebdomadaire) sont représentés pour la période d'octobre 2002 à septembre 2005 sur l'illustration 129.

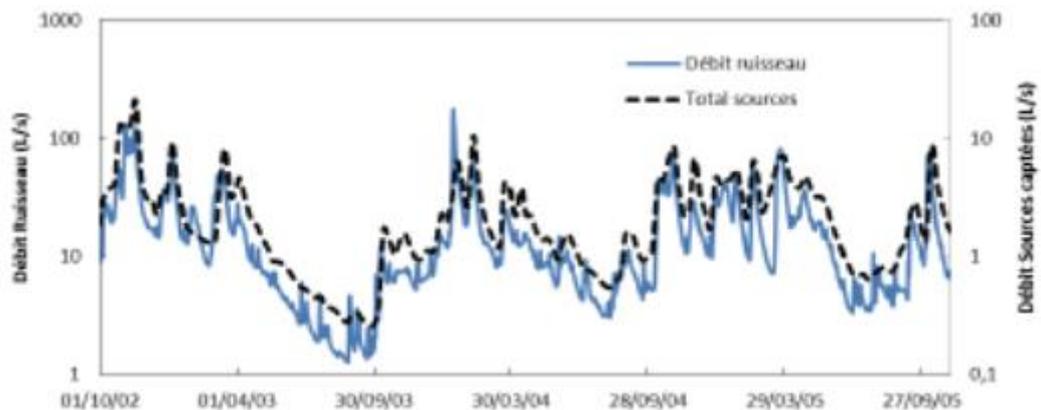


Illustration 129 - Comportement des sources comparé à l'évolution du débit à l'exutoire du bassin versant entre octobre 2002 et septembre 2005 (ordonnées logarithmiques)

L'évolution du débit de ces 4 sources est similaire à l'évolution du débit mesuré à l'exutoire du bassin, notamment lors de la récession due à la sécheresse de l'été 2003. Ce qui indique que les sources captées sont bien explicatives du fonctionnement hydrogéologique de ce bassin.

Toutefois, l'estimation du débit de l'ensemble des sources du bassin versant ne représente que 60 % du débit du Strengbach à l'exutoire. **Ces résultats tendent à confirmer la présence d'écoulements plus profonds alimentant les émergences/sources/cours d'eau de surface.**

4.9. SYNTHÈSE

L'alimentation en eau potable (AEP) des communes implantées sur le Massif Vosgien versant alsacien est principalement assurée par le captage de sources. La synthèse des données bancarisées montre que, dans la zone de socle vosgien, les sources constituent la majorité des points d'eaux recensés. Dans l'emprise de la zone d'étude, selon la BSS, il existe 1735 sources, dont 76 % (1330) sont des sources classifiées comme captées. Cependant, les aquifères du socle du Massif vosgien ne semblent disposer que de faibles réserves en eau, les rendant fortement dépendants des variations pluviométriques saisonnières.

Le suivi actuel de l'état de sécheresse se fait actuellement selon l'arrêté-cadre inter-préfectoral du 26 juillet 2012, relatif à la mise en place de principes communs de vigilance et de gestion des usages de l'eau en cas de sécheresse ou de risque de pénurie dans les bassins-versants du Rhin Supérieur. Ces arrêtés définissent différents seuils utilisant les QMNA2, QMNA5 et 10ème du module des différents cours d'eau suivi. Ces différents seuils sont respectivement associés à une situation de vigilance, d'alerte, d'alerte renforcée et de crise.

Il n'existe actuellement qu'un seul indicateur de suivi quantitatif des eaux souterraines dans les Vosges versant alsacien, correspondant à une source. L'utilisation d'autres sources permettrait de mieux suivre l'évolution de la ressource en eau souterraine. En Artois-Picardie, par exemple, le suivi des sources a été privilégié mais le contrôle de celles-ci est généralement très peu répandu dans les réseaux car les mesures de débit sont plus compliquées et plus coûteuses que les mesures de niveau. De même, la nappe de la craie du sud-est du Bassin de Paris pour l'AEP de Paris est suivie au travers de nombreuses sources et piézomètres parfois avec des historiques de plus de 50 ans.

Différentes stratégies doivent être mises en œuvre selon le contexte hydrogéologique pour aboutir à la détermination de seuils de gestion associés à un indicateur hydrogéologique. D'une façon générale, la recherche de seuils de gestion dans un bassin souterrain donné en relation avec un cours d'eau nécessite une analyse croisée des précipitations, des débits et des niveaux sur une période la plus longue possible. La recherche de liaisons entre niveaux et débits n'est pas toujours évidente. Les travaux réalisés à l'échelle du sous bassin versant du Strengbach illustrent les difficultés rencontrées pour délimiter un bassin souterrain et calculer un bilan hydrologique.

Le retour de l'enquête faite auprès des communes a permis de lister un certains nombres de communes se considérant en situation de tension sur l'AEP. Une analyse détaillée des résultats de cette enquête permettrait de différencier les problématiques de gestion de la distribution d'eau des problématiques quantitatives de la ressource. Les points suivants ont pu être dégagés :

- le peu de données de suivi quantitatif : la fréquence des mesures est généralement augmentée lors des épisodes de sécheresse. Mais l'absence de comparaison à une situation "normale" rend difficile l'évaluation de la pérennité de la ressource ;
- la forte influence, lors des périodes de tension, de la gestion de la distribution de l'eau. On notera notamment les fuites lors des périodes de recharge des réservoirs, ne permettant pas de faire face par la suite aux périodes de déficit.

Une étude des principales sources permettrait de sélectionner celles qui représentent bien le fonctionnement hydrogéologique d'un bassin et qui pourraient être utilisées comme ouvrages de suivi.

5. Conclusions

L'analyse des arrêtés sécheresse et des chroniques de niveaux mesurés sur les piézomètres du réseau sécheresse mis en place en Champagne-Ardenne et en Lorraine a révélé pour ces deux territoires plusieurs points faibles dans la définition des seuils d'alerte, d'alerte renforcée et de crise.

● En Champagne-Ardenne, le réseau de suivi sécheresse comprend 19 piézomètres sur lesquels 3 valeurs seuils sont définies mensuellement en termes de périodes de retour :

5 ans sec pour le seuil d'alerte, *10 ans sec* pour le seuil d'alerte renforcé et *20 ans sec* pour le seuil de crise. Les valeurs correspondant à ces périodes de retour sont issues de l'ajustement d'une loi normale sur les niveaux moyens des différents mois.

Ces seuils présentent souvent un comportement erratique sur la période de 12 mois :

- existence de discontinuités d'un mois à l'autre (exemple du piézomètre de Vailly) avec parfois une forte variation à la hausse ou à la baisse, ce qui modifie par conséquent l'appréciation de la situation hydrogéologique d'un mois à l'autre ;
- des seuils de nature différente (crise et alerte renforcée) sont parfois identiques d'un mois au suivant (exemple du piézomètre de Praslin) ; l'objectif assigné aux différents seuils, à savoir prévenir une situation graduellement plus critique que la précédente, n'est donc pas atteint ;
- les écarts entre différents seuils (crise et alerte renforcée par exemple) pour un même mois sont parfois très faibles (exemple des piézomètres de Mécringes et de Linthelles) et par conséquent non significatifs d'un point de vue hydrogéologique.

Par ailleurs, l'analyse statistique faite sur les données des 19 piézomètres du réseau de suivi sécheresse montrent que peu d'entre eux se prêtent à une analyse probabiliste et à la fixation de valeurs seuils en termes de périodes de retour (notamment en utilisant la loi normale), comme c'est actuellement le cas pour tous les piézomètres et pour chaque mois.

Pour remédier à ces points faibles, on propose d'utiliser des seuils annuels au lieu des seuils mensuels qui compliquent l'évaluation de l'état de la ressource et de travailler sur les séries constituées par les niveaux moyens mensuels minimum de chaque année (HMNA par analogie avec les QMNA) plutôt que sur les séries des niveaux moyens annuels. Parmi les variables qui pourraient être utilisées pour fixer ces seuils et qui ont été testées dans l'étude, il y aurait a priori :

- la moyenne des niveaux moyens mensuels minimum de chaque année (moyenne des HMNA) ;
- le minimum de la série des HMNA ;
- le HMNA5 (période de retour *5 ans sec*) lorsqu'une analyse fréquentielle est possible ;
- la moyenne des minima relevés chaque année dans la chronique journalière ;
- le minimum absolu (seuil historique) relevé dans la chronique de mesures.

Les tests réalisés avec ces variables ont montré qu'il était difficile d'une part de standardiser en ne retenant qu'une seule solution convenant à tous les piézomètres et d'autre part de définir systématiquement 3 seuils. Plusieurs solutions sont possibles et doivent être discutées. Ces solutions, issues de l'analyse des chroniques piézométriques sont les suivantes.

◆ Pour les huit piézomètres (Mécringes, Janvilliers, St-Hilaire, Orvilliers, Villeloup, Grandes Loges, Vailly, Fresne) où une analyse fréquentielle a été possible sur les niveaux moyens mensuels minimum de chaque année (avec calcul du HMNA5), on pourrait retenir :

- la moyenne des minima annuels comme seuil d'alerte (bien que la valeur soit parfois un peu forte) ;
- le HMN5 comme seuil d'alerte renforcé ;
- le minimum des valeurs de la série des HMNA comme seuil de crise (bien qu'il soit parfois très bas, proche du minimum absolu).

◆ Pour les autres piézomètres, (Saulsotte, Vanault, Linthelle, ...et en particulier Bouvellemont et Silvarouvres), la définition de 3 seuils apparaît plus difficile. Le seuil d'alerte pourrait être la moyenne des HMNA (parfois très proche de la moyenne des minima annuels) et le seuil de crise le minimum de la série des HMNA.

● En Lorraine, le dispositif du suivi sécheresse diffère de celui de Champagne-Ardenne puisque les niveaux de la nappe n'interviennent pas pour évaluer la sévérité de la sécheresse et pour établir les arrêtés sécheresse. Les alertes sont déclenchées uniquement à partir de seuils débitométriques définis dans les bassins versants de la Meuse, de la Moselle et de la Sarre (alerte, crise et crise renforcée).

Néanmoins, il existe un réseau de suivi du niveau des nappes : les indicateurs associés aux piézomètres de ce réseau ne sont pas utilisés comme déclencheurs d'alerte mais sont pris en compte dans l'appréciation globale de la situation hydrologique.

Ces indicateurs sont construits comme suit : le niveau moyen des nappes calculé sur deux semaines de l'année en cours est comparé à des niveaux de période de retour prédéterminée obtenus pour ces deux mêmes semaines en utilisant les mesures de toutes les années disponibles (ajustement d'une loi normale). En fonction de la comparaison, une note comprise entre 0 et 5 est attribuée à chaque piézomètre, définissant le degré de sévérité de la situation.

Comme dans le cas de la Champagne-Ardenne, l'analyse statistique faite sur les données des piézomètres du réseau de suivi sécheresse montrent que peu d'entre eux se prêtent à une analyse probabiliste et à la fixation de valeurs seuils en termes de périodes de retour (notamment en utilisant la loi normale). Aux seuils existant, on propose de substituer des seuils annuels.

Comme dans le cas de la Champagne-Ardenne, des tests ont été effectués à partir des valeurs suivantes :

- la moyenne des niveaux moyens mensuels minimum de chaque année (moyenne des HMNA) ;
- le minimum de la série des HMNA ;
- le HMNA5 (période de retour 5 ans sec) lorsqu'une analyse fréquentielle est possible ;
- la moyenne des minima relevés chaque année dans la chronique journalière ;
- le minimum absolu (seuil historique) relevé dans la chronique de mesures.

Ces tests montrent aussi qu'il est difficile de fixer des seuils avec le même mode de calcul pour tous les piézomètres.

Pour les 6 piézomètres où le HMNA5 a été calculé, la définition de 3 seuils à partir des variables indiquées ci-dessus apparaît difficile tant leurs valeurs sont proches les unes des autres (à Fréville, le HMNA5 est confondu avec la moyenne des minima annuels).

Pour tous les piézomètres, on pourrait alors ne retenir que deux seuils : un seuil d'alerte qui serait la moyenne des HMNA et un seuil de crise qui serait le minimum de la série des HMNA, le seuil d'alerte renforcé étant peut-être superflu compte tenu des écarts parfois très faibles entre les valeurs de la moyenne et du minimum des HMNA.

- Une solution possible pour fixer des seuils consisterait à faire intervenir l'indicateur piézométrique standardisé (IPS) utilisé pour le Bulletin de Situation Hydrologique. L'IPS est un indicateur d'état de la ressource, calculé a posteriori : il caractérise la situation d'une nappe, en moyenne, pour le mois qui vient de s'écouler. A priori, par construction, il ne saurait donc convenir comme "indicateur sécheresse" comportant 3 seuils déclencheurs d'alerte. De plus, pour qu'il puisse avoir un rôle anticipateur et être adapté à des périodes plus courtes, de 15 jours par exemple, le mode de calcul actuel devrait être revu. Cette solution ne doit pas néanmoins être écartée car elle pourrait s'appliquer à tous les piézomètres. Pour la retenir, une étude de faisabilité doit être menée.

- Pour approfondir cette étude l'analyse de courbes de récession en périodes de sécheresse prononcée permettrait d'affiner le choix des seuils.

L'illustration 130 et l'illustration 131 présentent des courbes de récession des niveaux au piézomètre des Grandes Loges (3 courbes) et de Fresne (3 courbes) : elles sont relatives aux années 1976 (d'avril à novembre), 2004 (d'avril à octobre) et 2011 (de mars à décembre). Sur ces 6 courbes une loi exponentielle a été ajustée (à titre illustratif, d'autres fonctions pouvant lui être préférées) et 3 valeurs seuils ont été reportées : le HMNA5 (tableau 17, § 2.4.1.2), le minimum des HMNA et la moyenne des HMNA (tableaux 20 et 21, § 2.4.3.1).

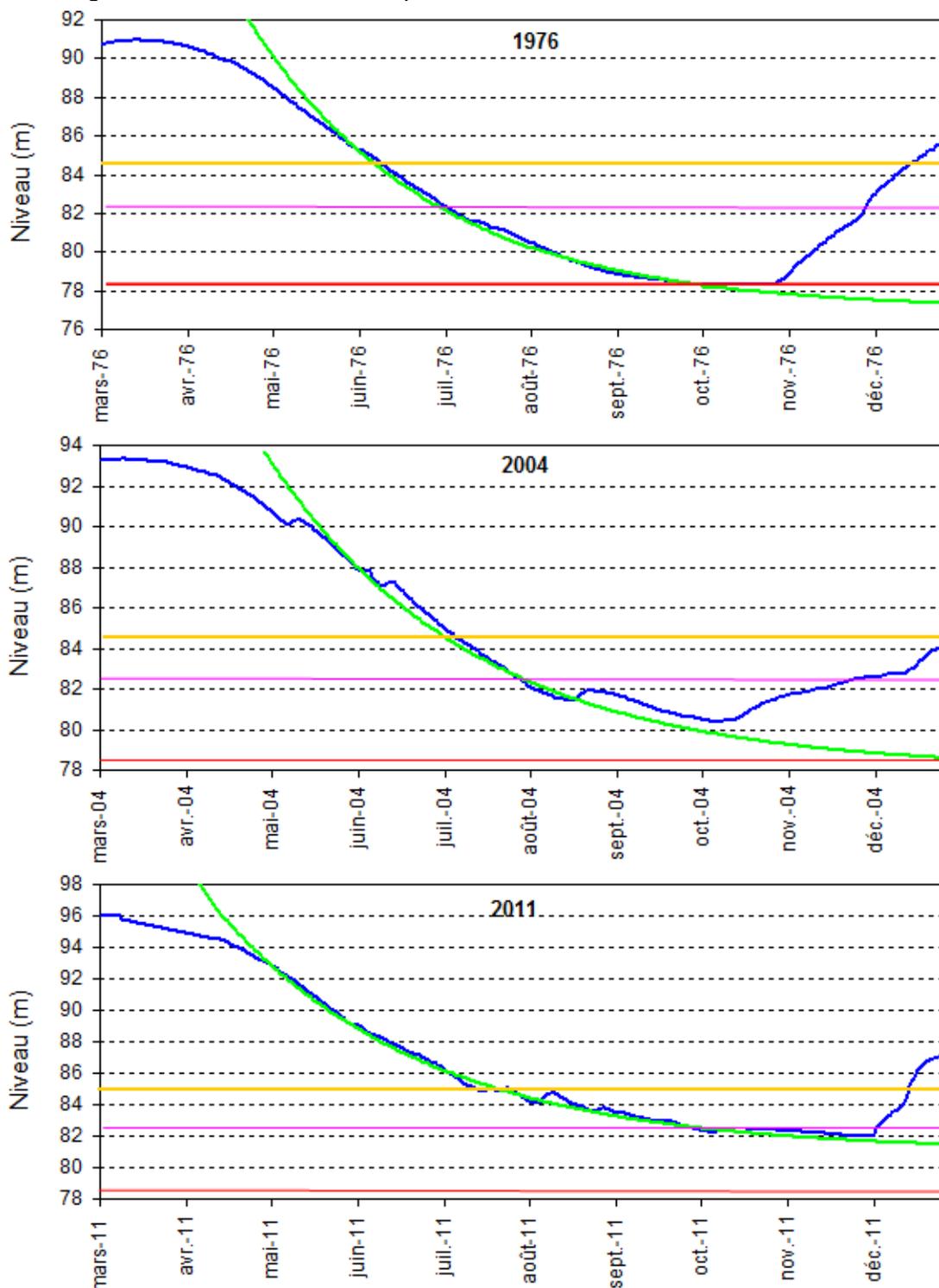
Ces graphiques sont intéressants car ils montrent la similitude des courbes de récession : la constante de récession de la loi exponentielle est à peu près la même pour les 3 courbes des Grandes Loges (0,0150 jour⁻¹ en 1976, 0,0134 jour⁻¹ en 2004 et en 2011) et pour les 3 courbes de Fresne (0,0092 jour⁻¹ en 1976, 0,0093 jour⁻¹ en 2004, 0,0085 en 2011). Ils montrent aussi que des seuils annuels suffisent pour qualifier une situation de sécheresse : en 1976 le seuil de crise est franchi (légèrement) en 1976 aux Grandes Loges, atteint à Fresne ; aux Grandes Loges le seuil d'alerte renforcée est franchi en 2004 et 2011 mis les niveaux restent au-dessus du seuil de crise (2 à 3 m) ; à Fresne, le seuil d'alerte renforcé est atteint en 2004 et 2011 mais non dépassé, les niveaux restant à 4 m au-dessus du seuil de crise.

Analyser de telles courbes de récession sur tous les piézomètres permettrait de mieux comprendre les dynamiques de baisse des niveaux et peut-être d'anticiper une situation de crise bien avant que le seuil d'alerte ne soit franchi.

Pour comparaison (en franchissement) avec les seuils ci-dessus, les graphiques des variations de l'IPS sur la période de mesures des piézomètres des Grandes Loges et de Fresne ont été tracés (Illustration 132) et les valeurs "repères" -0,84, -1,28 et -1,64 ont été reportés sur ces graphiques. Si l'on convient de considérer -0,84 comme seuil d'alerte, -1,28 comme seuil d'alerte renforcée et -1,64 comme seuil de crise, alors :

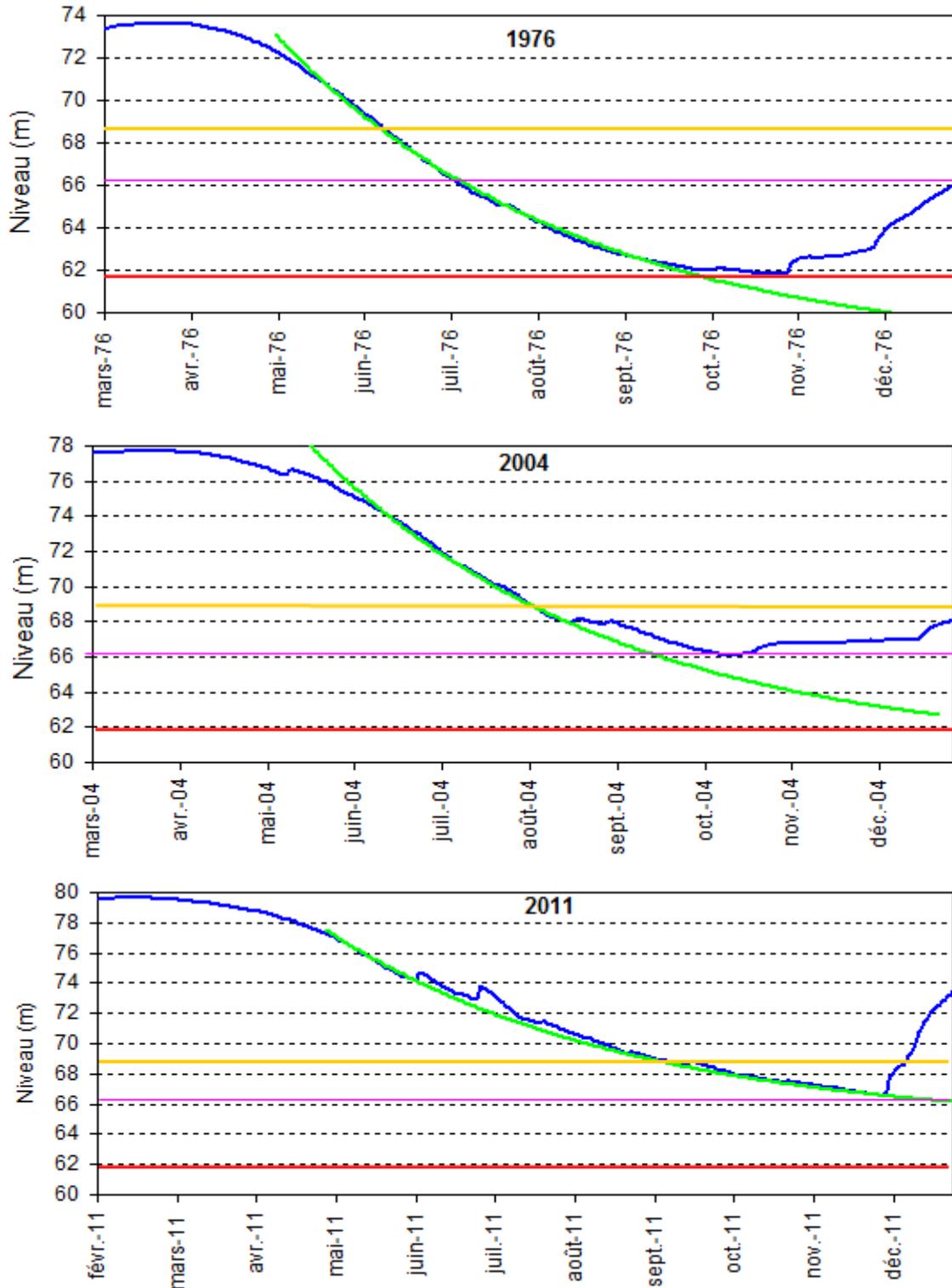
- en 1976, il y a eu franchissement des 3 seuils aux deux piézomètres ;
- en 2004 et 2011 le seuil d'alerte est franchi aux deux piézomètres, mais le seuil d'alerte renforcé n'est pas atteint (à la différence des seuils ci-dessus).

- Quant au cas de l'Alsace (hors plaine alluviale), le réseau de suivi des eaux souterraines est à constituer : il n'existe actuellement qu'un seul indicateur de suivi quantitatif des eaux souterraines dans les Vosges versant alsacien, correspondant à une source.



Ligne horizontale jaune : la moyenne des HMNA (84,46 m), seuil d'alerte
 Ligne horizontale mauve : le HMNA5 (82,26 m), seuil d'alerte renforcée
 Ligne horizontale rouge : le minimum des HMNA (78,32m), seuil de crise
 Courbe verte : loi exponentielle ajustée

Illustration 130 – Piézomètre des Grandes Loges : périodes de récession en 1976, 2004 et 2011



Ligne horizontale jaune : la moyenne des HMNA (68., m), seuil d'alerte
 Ligne horizontale mauve : le HMNA5 (66,13 m), seuil d'alerte renforcée
 Ligne horizontale rouge : le minimum des HMNA (61,91 m), seuil de crise
 Courbe verte : loi exponentielle ajustée

Illustration 131 - Piézomètre de Fresne : périodes de récession en 1976, 2004 et 2011

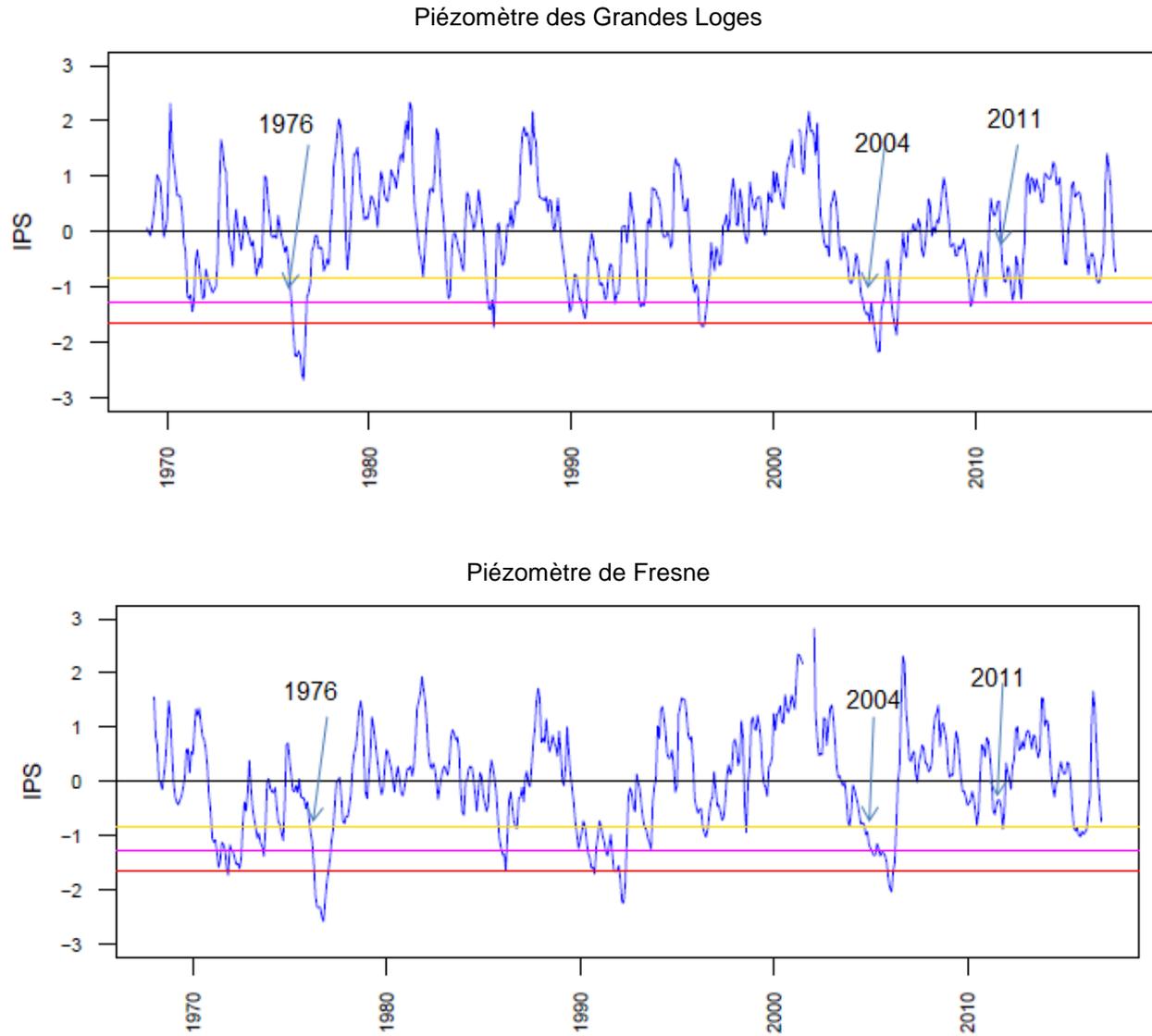


Illustration 132 – Variations de l'IPS aux piézomètres des Grandes Loges et de Fresne

6. Références bibliographiques

AESN – Bassins en déséquilibre quantitatif potentiel (BDQP). Méthodologie et résultats. Note technique transmise par l'Agence de l'Eau Seine-Normandie.

Baierer C., Mesquita Muniz J, Giuglaris E. (2016) – Étude de la sensibilité à la sécheresse des ressources en eau dans les Vosges (versant alsacien). Rapport BRGM/RP-66696-FR.

DREAL Champagne-Ardenne (2013) - Notice d'orientation régionale 2013 de Champagne-Ardenne en vue de la préservation de la ressource en eau en période d'étiage, pour les bassins Seine-Normandie et Rhône-Méditerranée.

Henny F. (2010) – Gestion de la ressource en eau en Alsace : révision des arrêtés cadre "sécheresse". Mémoire de fin d'étude de l'ENGEES, Strasbourg.

Nguyen-Thé D., Baierer C., Chabart M., Demangeon G., Duval S., Ollagnier S., Tridon E. (2015) – Réseau de surveillance de l'état quantitatif des eaux souterraines du bassin Rhin-Meuse, Rapport de gestion 2014. Rapport BRGM/RP-64877-FR,

Seguin J.J., Wuilleumier A. (2006). Exploitabilité des ressources en eaux souterraines en France. Résistance à la sécheresse des principaux aquifères à nappe libre. Rapport BRGM/RP-55188-FR

Seguin J.J., Gomez E., Wuilleumier A. (2009) - Les indicateurs piézométriques. Un outil dans la gestion des hydrosystèmes. Orientations méthodologiques. BRGM/RP-58139-FR

Seguin J.J. (2015) - Proposition d'un indicateur piézométrique standardisé pour le Bulletin de Situation Hydrologique "nappes". Rapport final. BRGM/RP-64147-FR

Stollsteiner Ph. (2013) - Connaissance des ressources réellement disponibles sur l'ensemble des bassins versants crayeux de Champagne –Ardenne. Rapport BRGM/RP 61371-FR

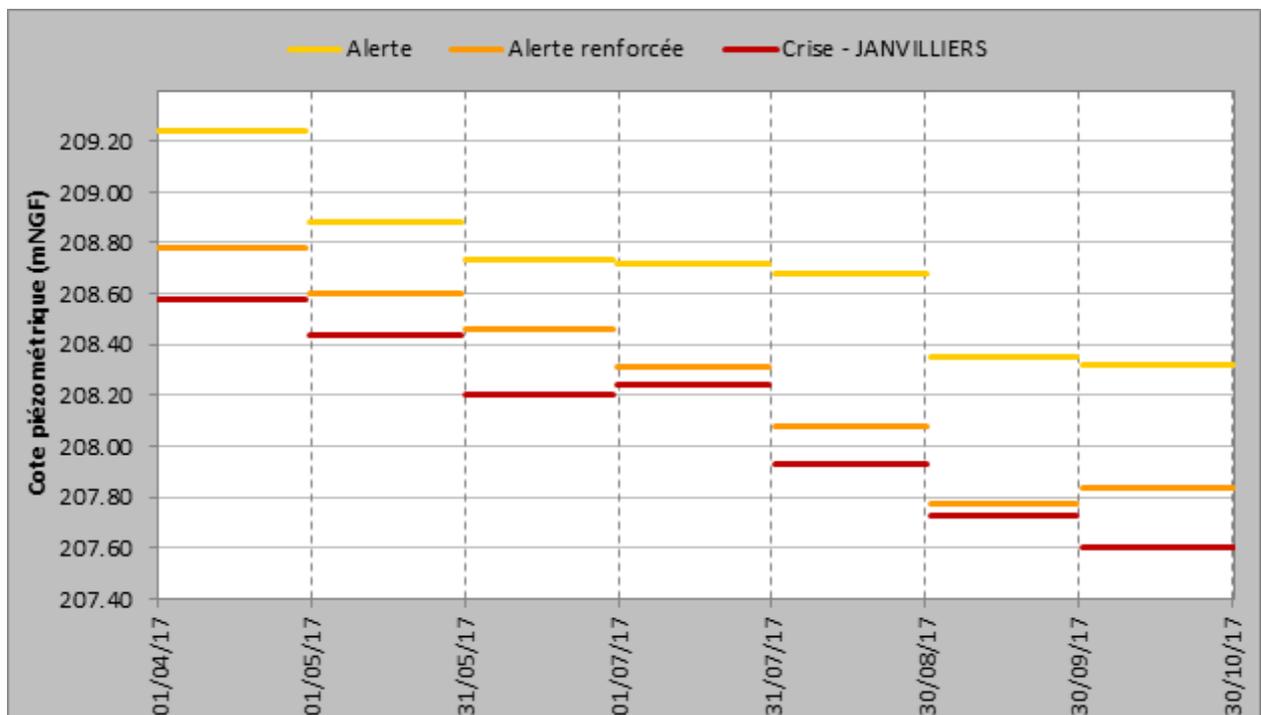
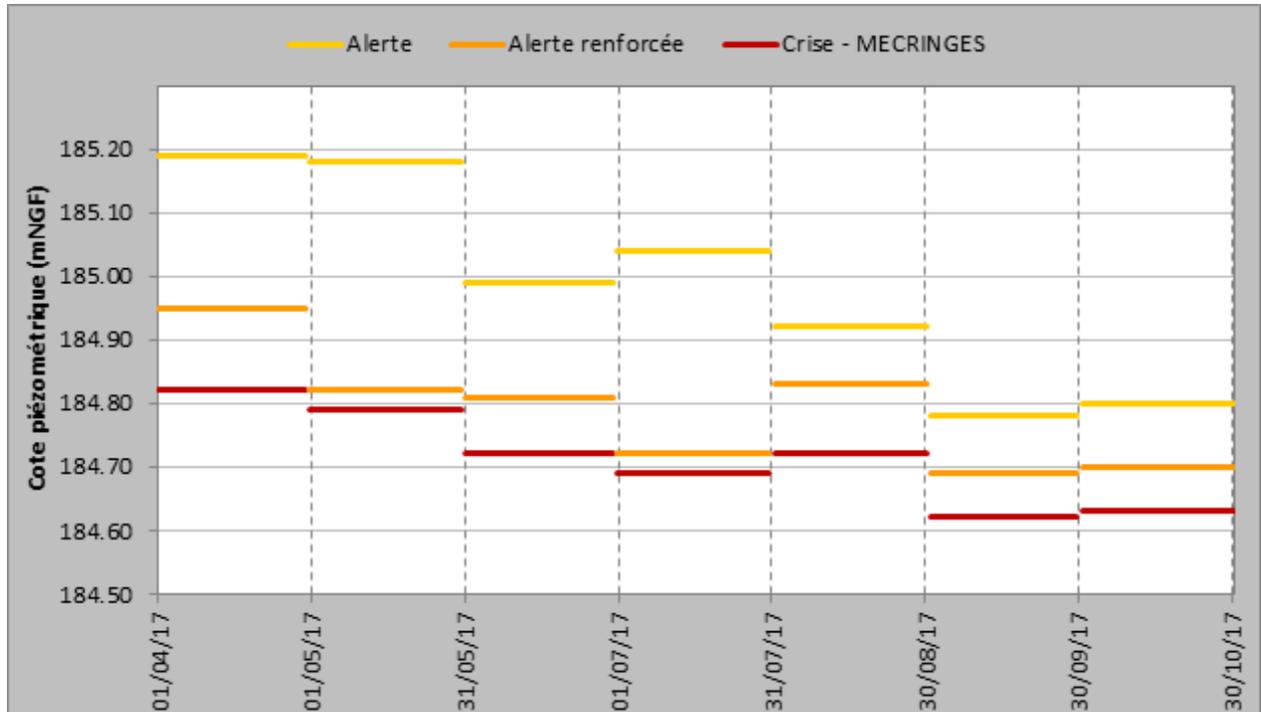
Stollsteiner P. (2015) – Compléments à l'étude « Connaissance des ressources réellement disponibles sur l'ensemble des bassins versants crayeux de Champagne Ardennes. - Rapport BRGM/RP-65449-FR

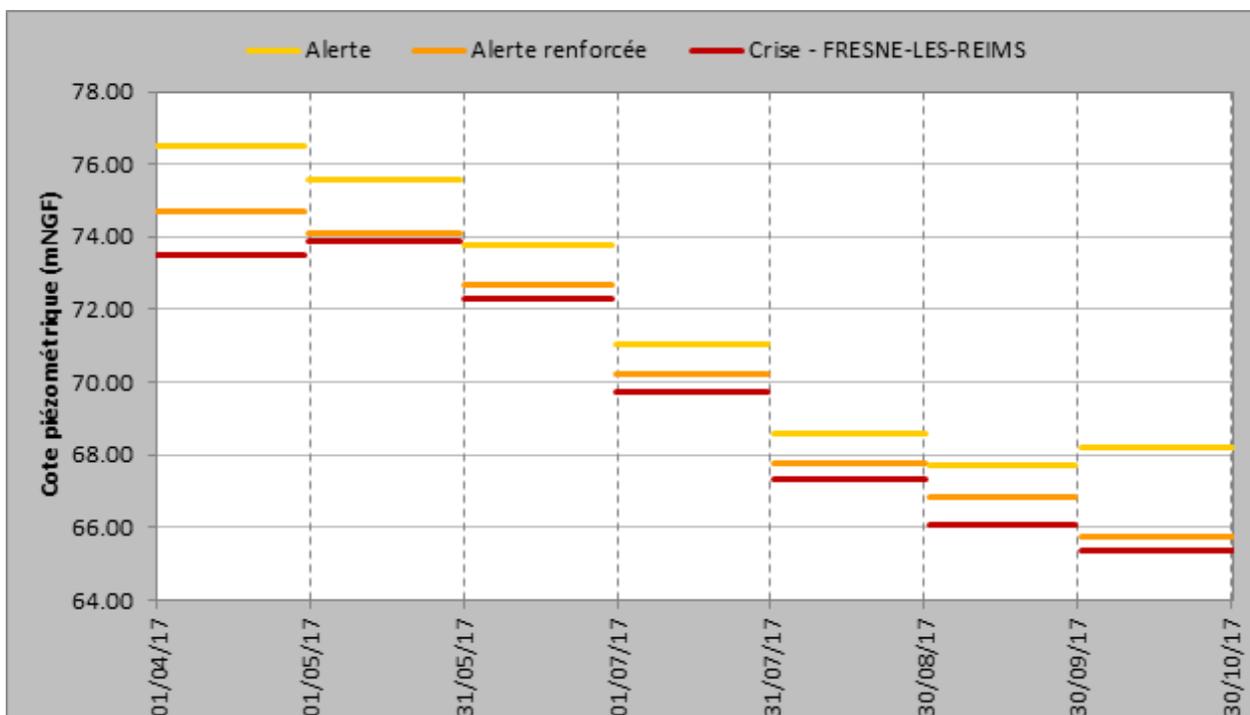
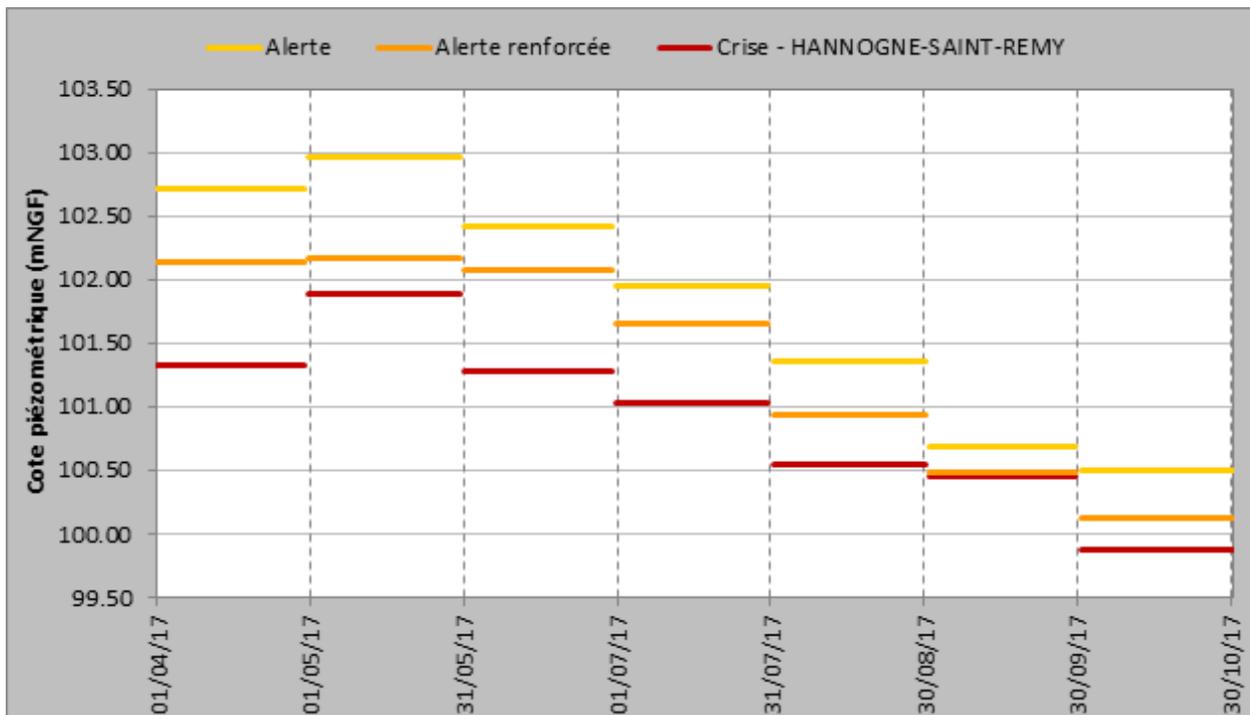
Annexe 1 :

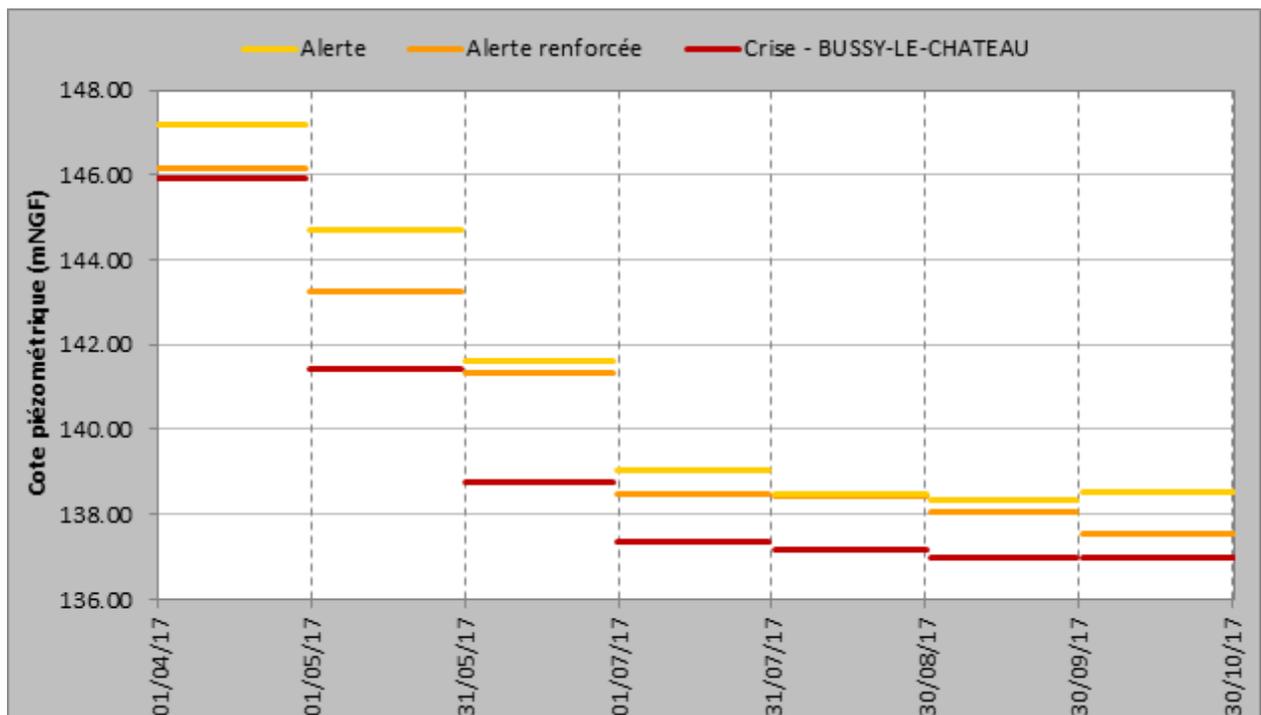
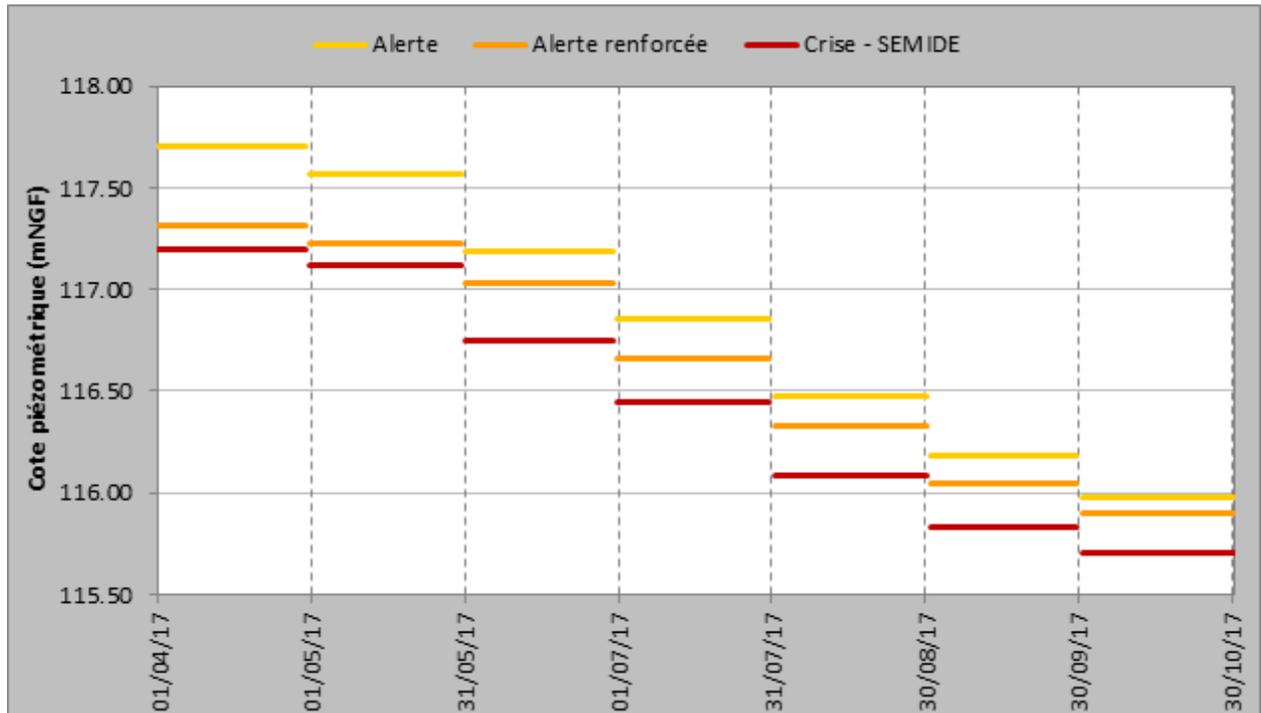
Seuils piézométriques des ouvrages de suivi en Champagne-Ardenne

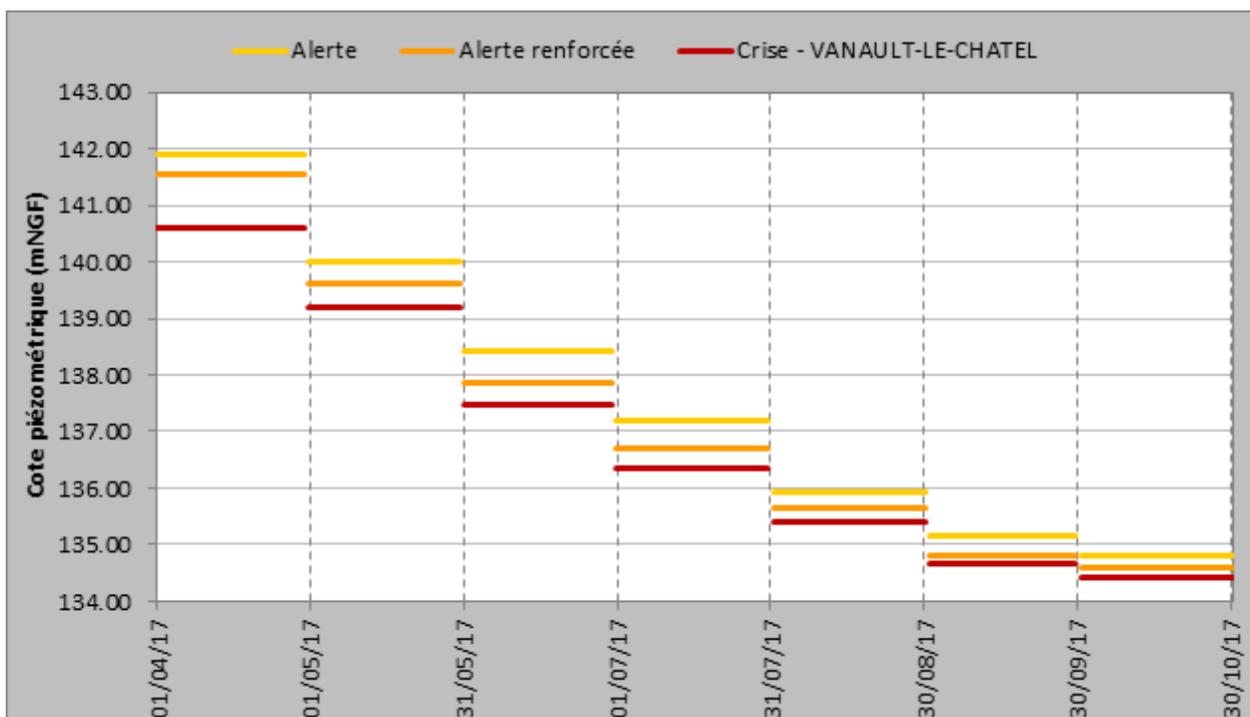
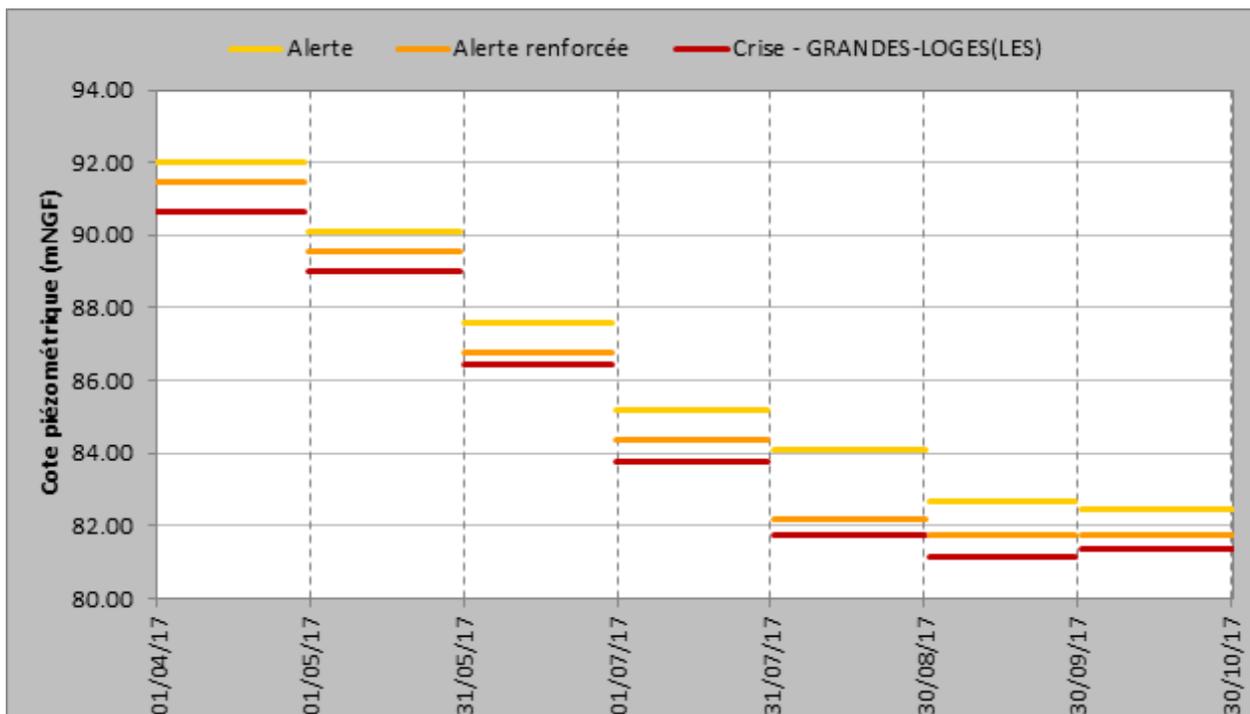
Les seuils d'alerte, d'alerte renforcée et de crise sont tracés mois par mois, d'avril à novembre.

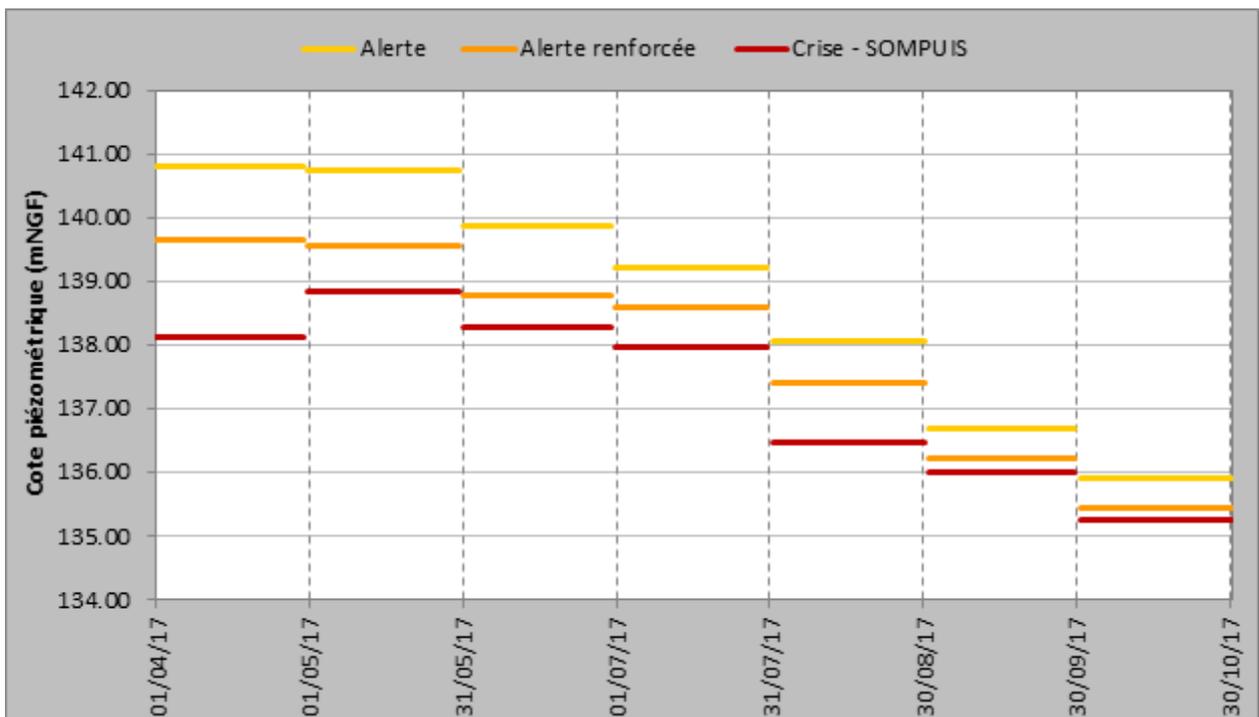
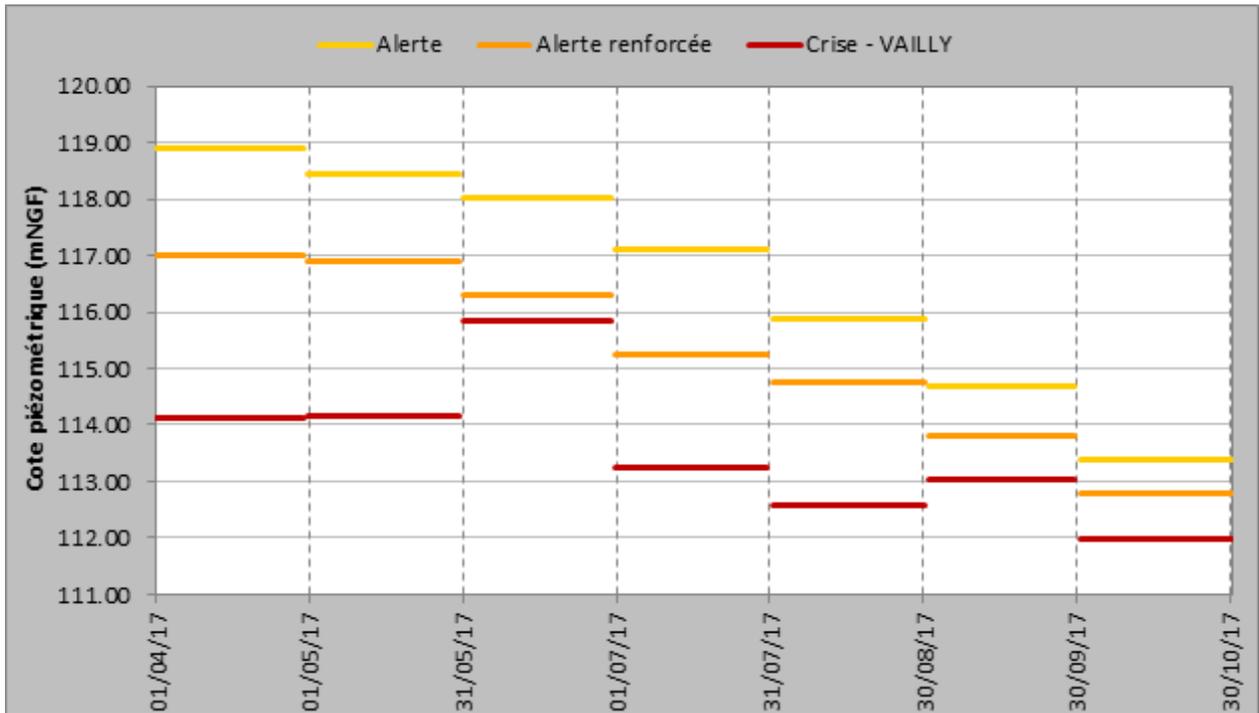
Mécringes

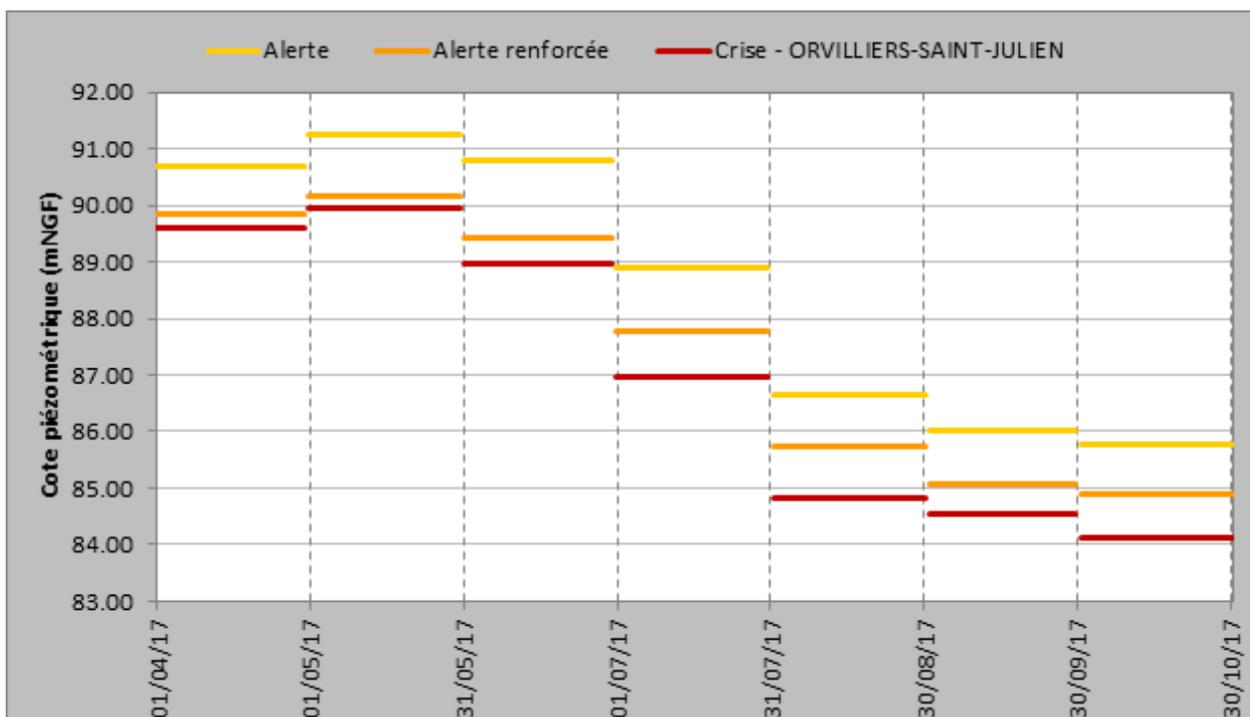
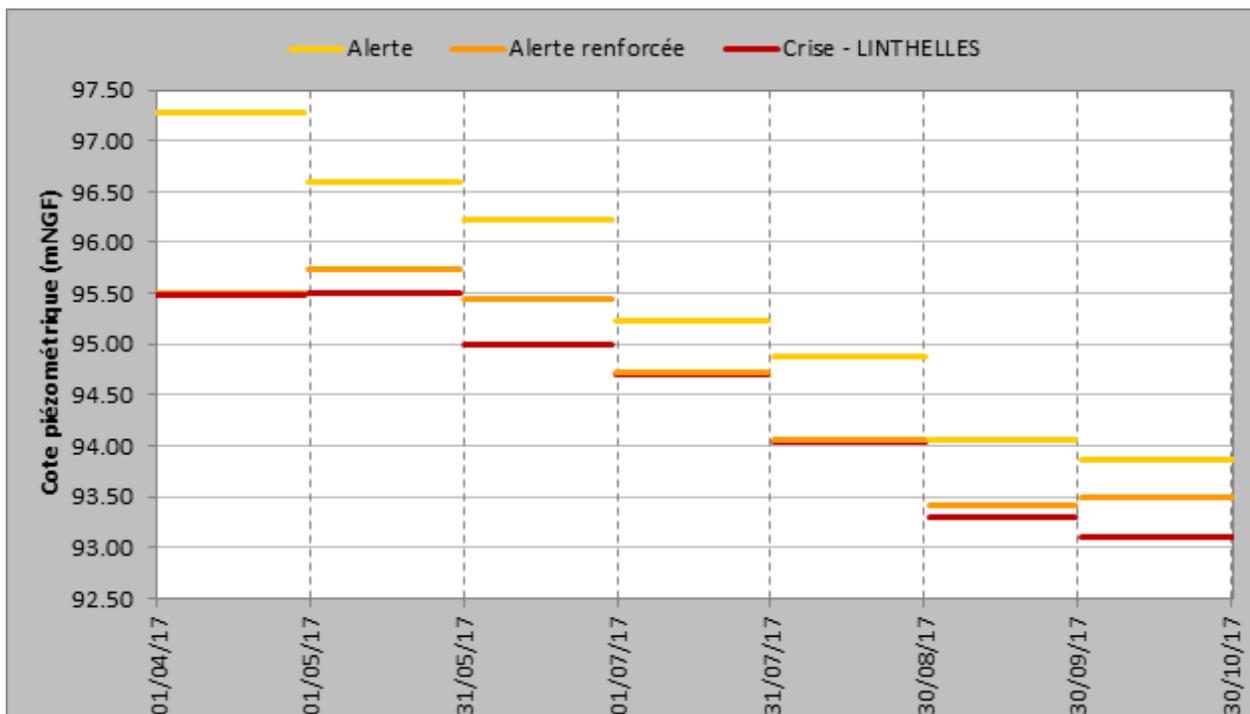


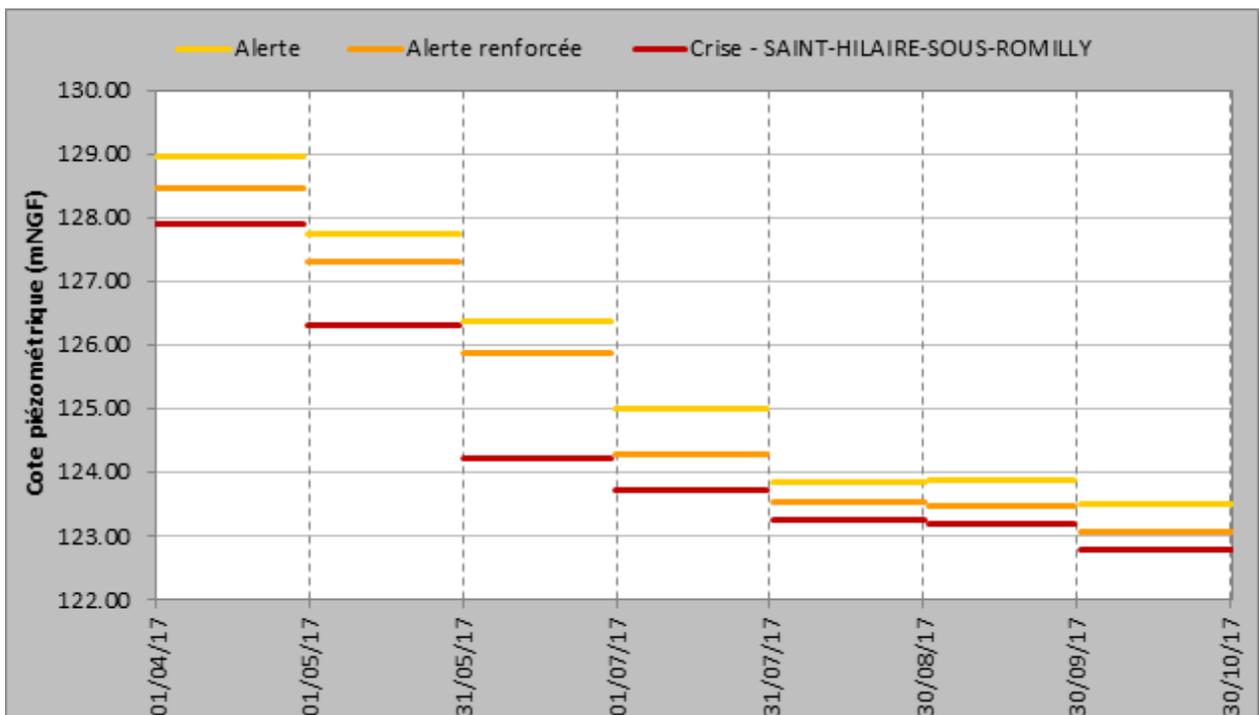
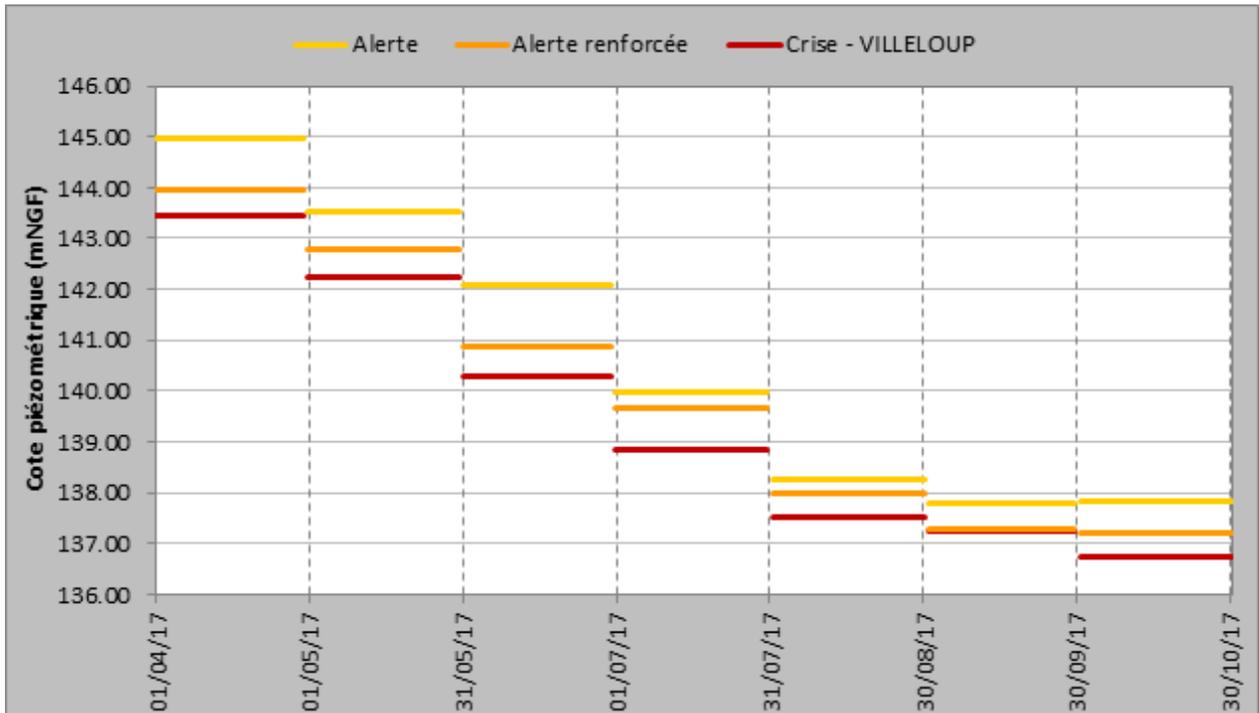


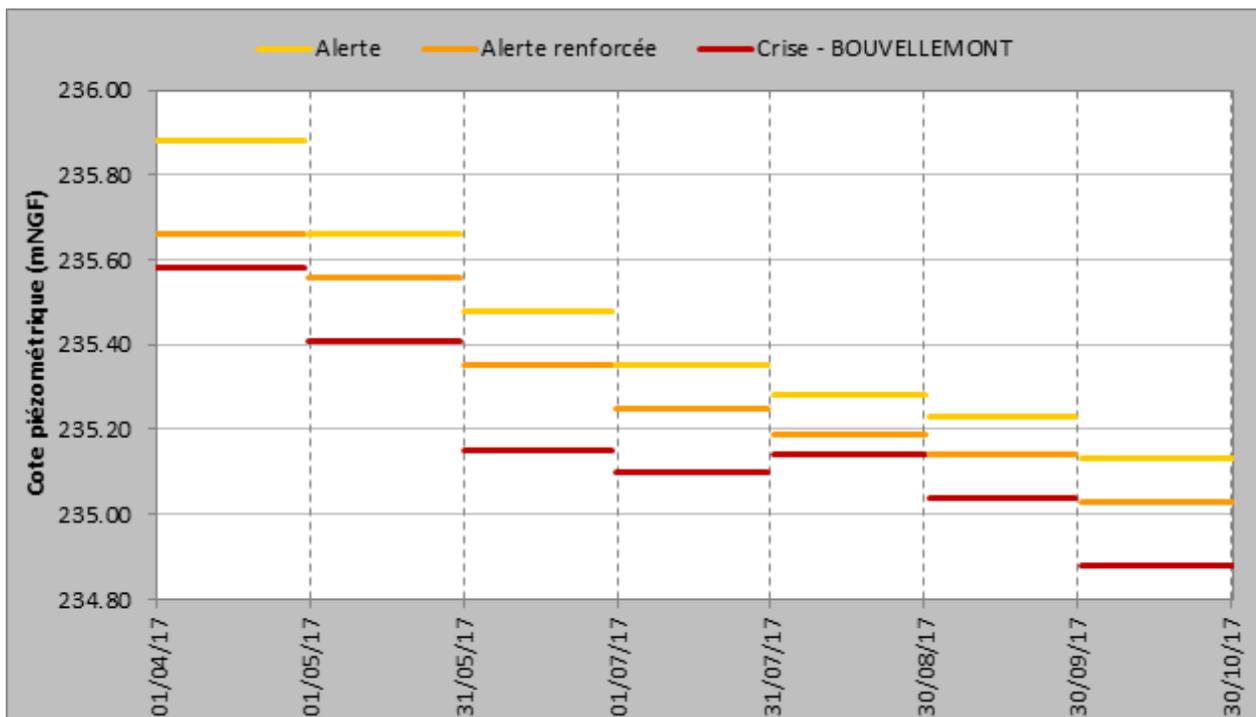
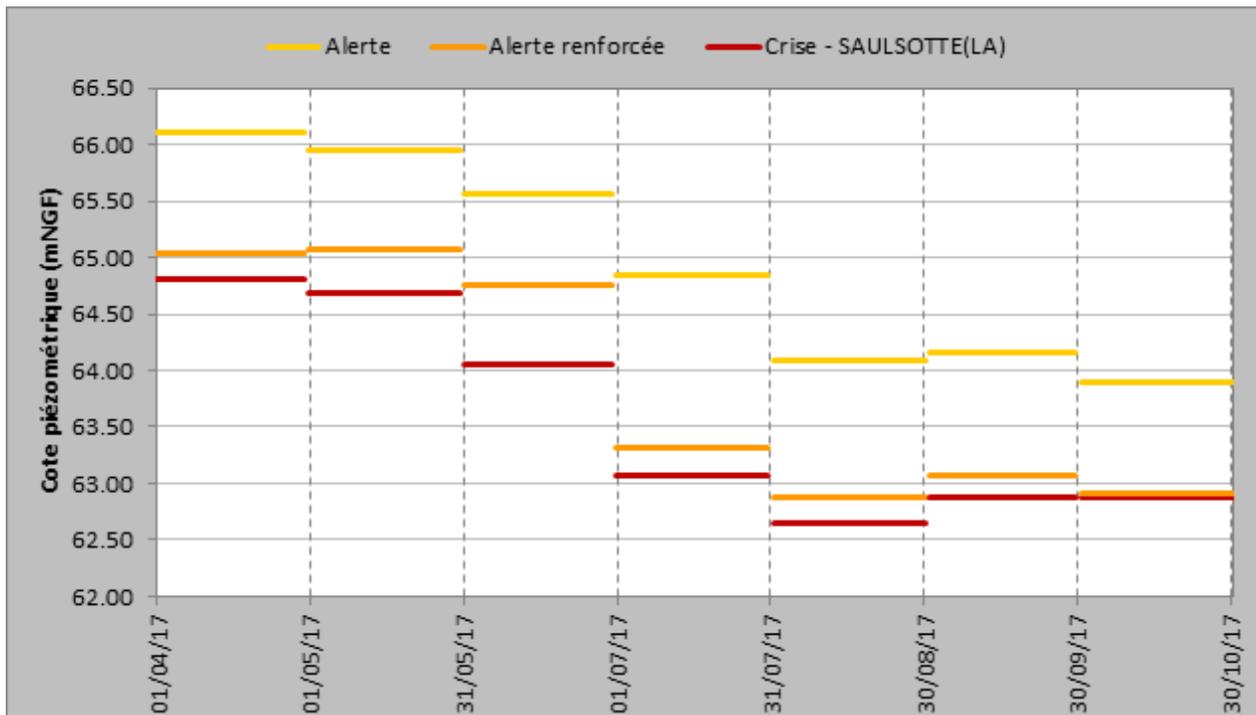


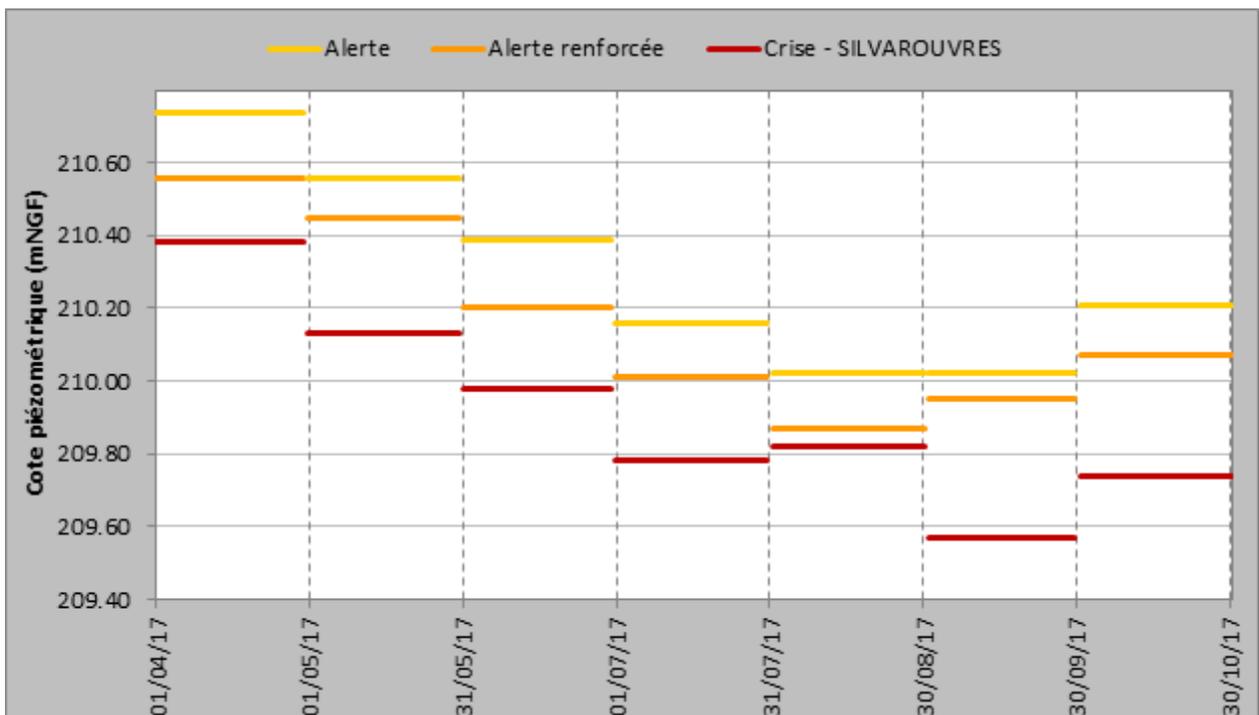
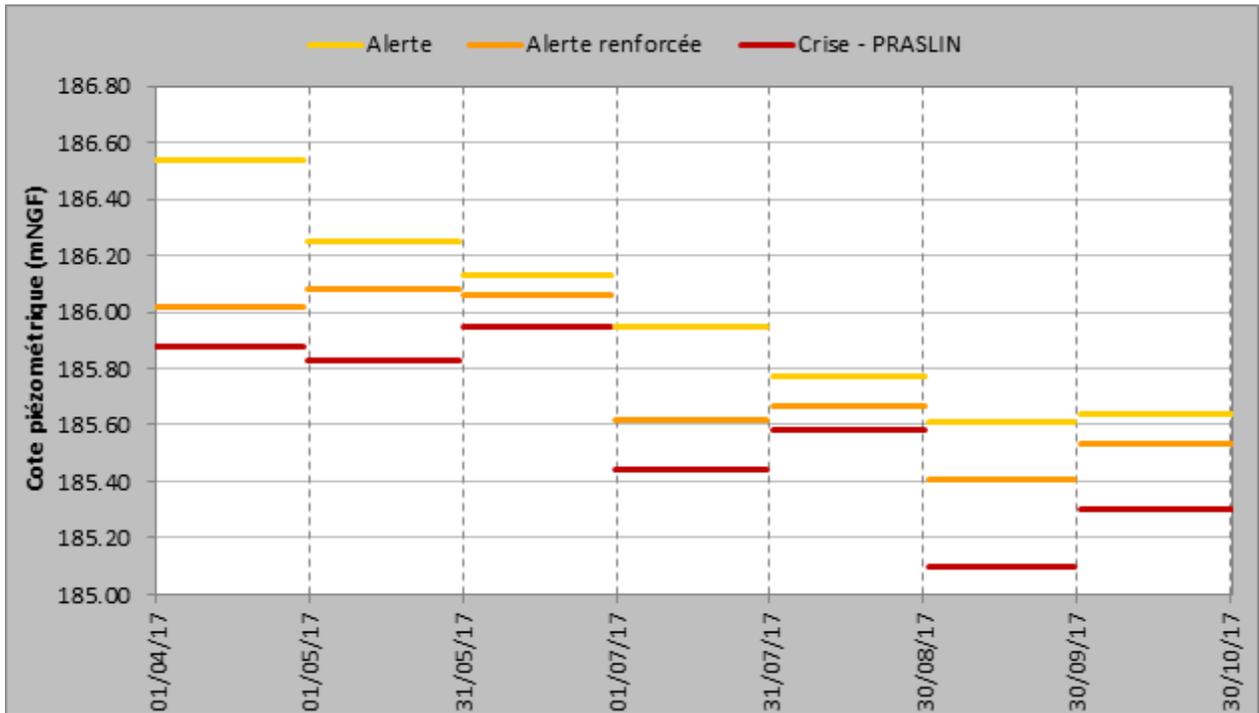


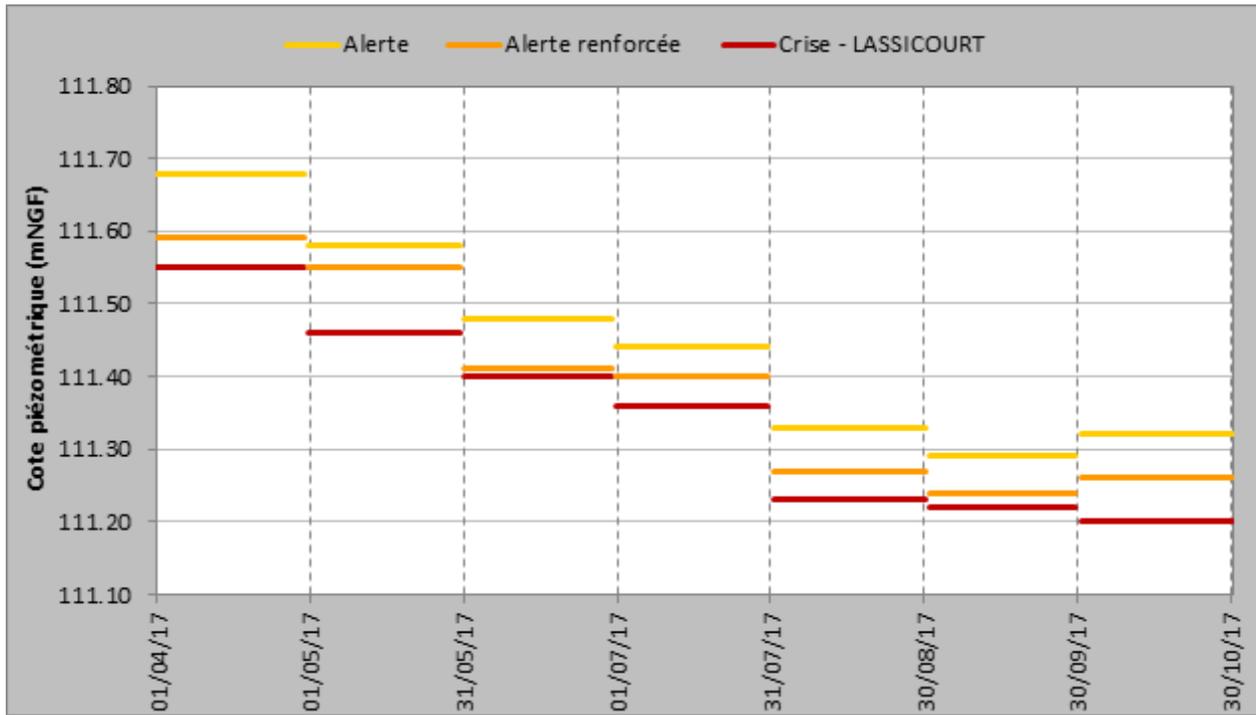








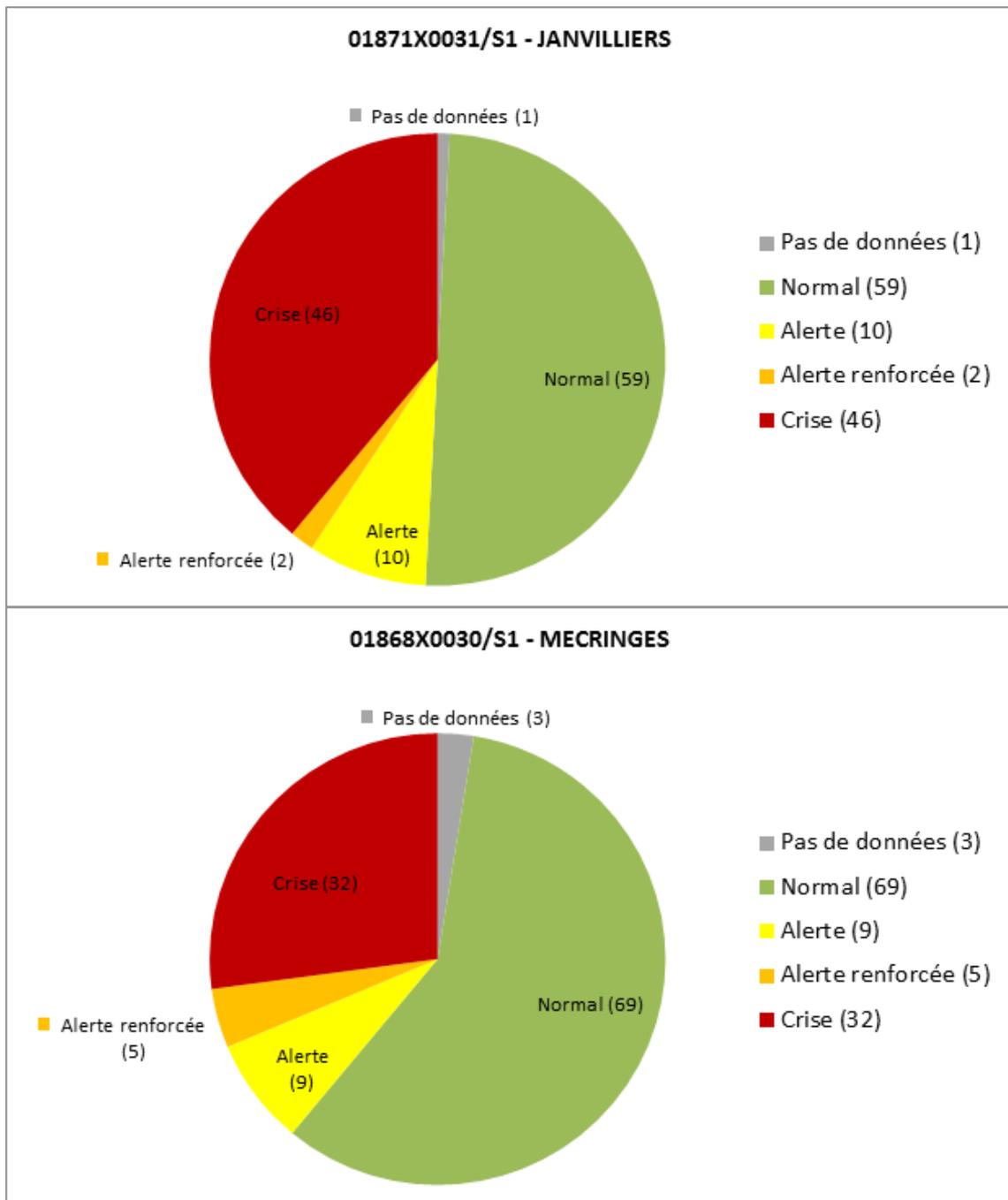


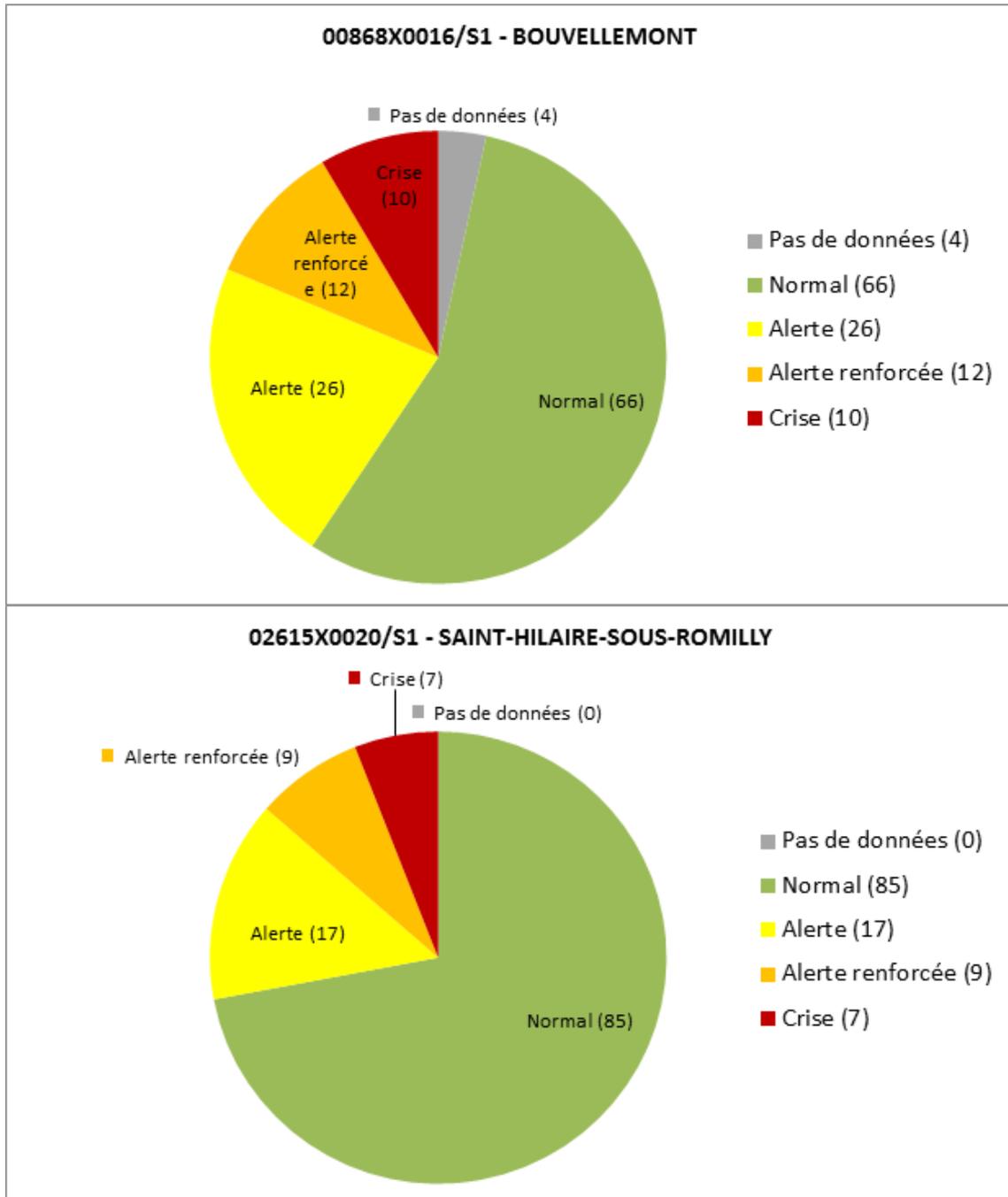


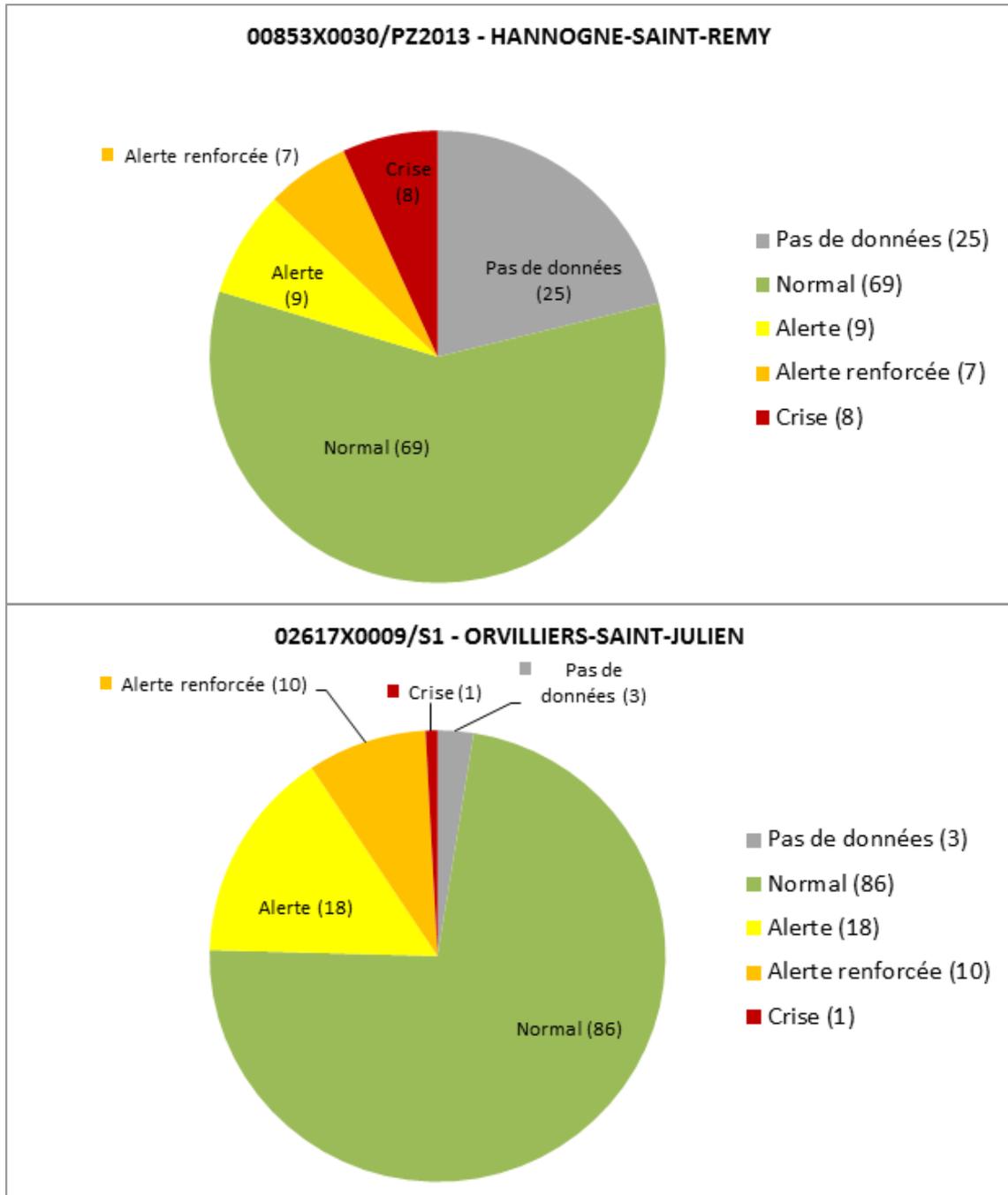
Annexe 2 :

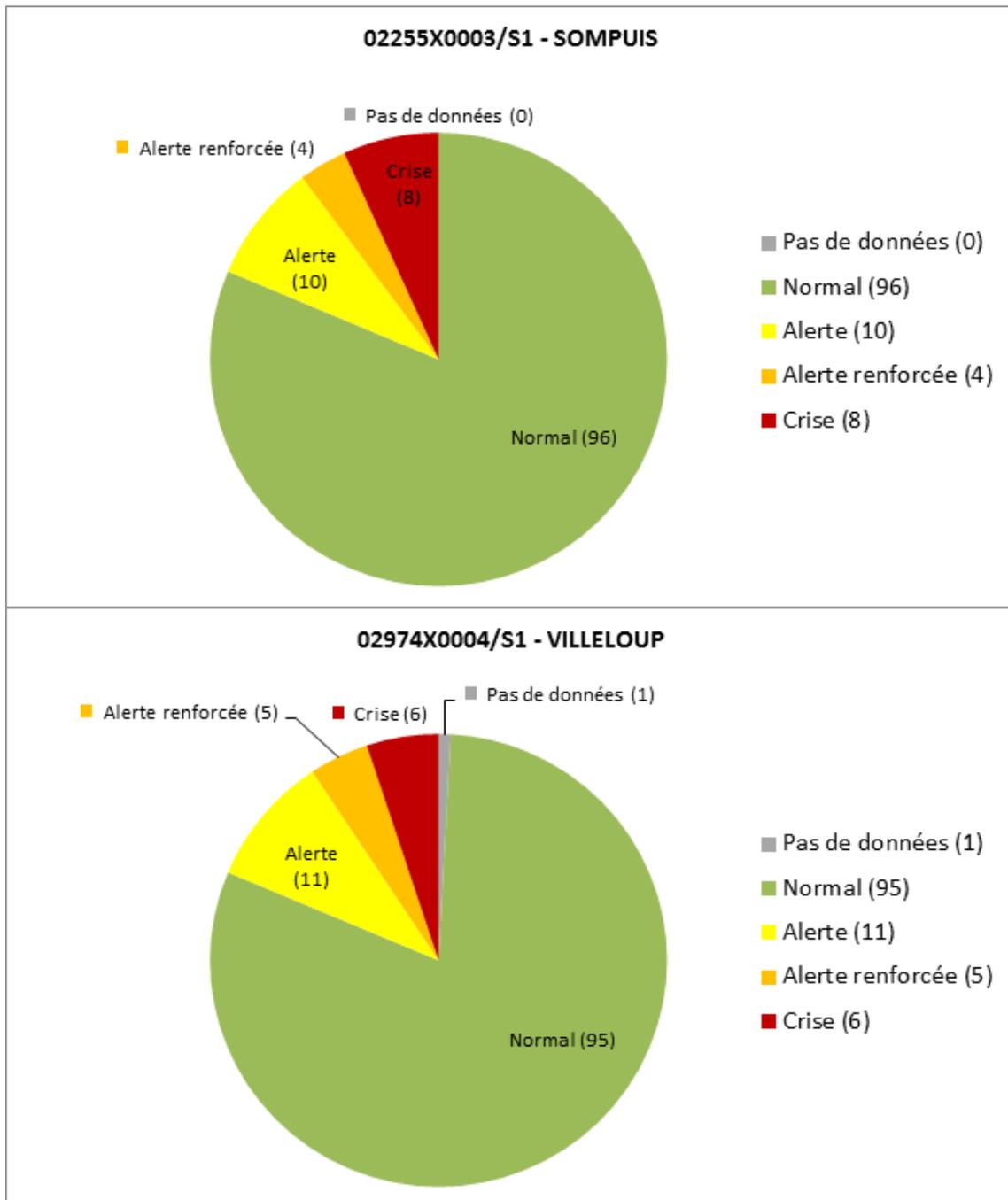
Nombre de dépassements de seuils par piézomètre de suivi (indicateur sécheresse) en Champagne-Ardenne

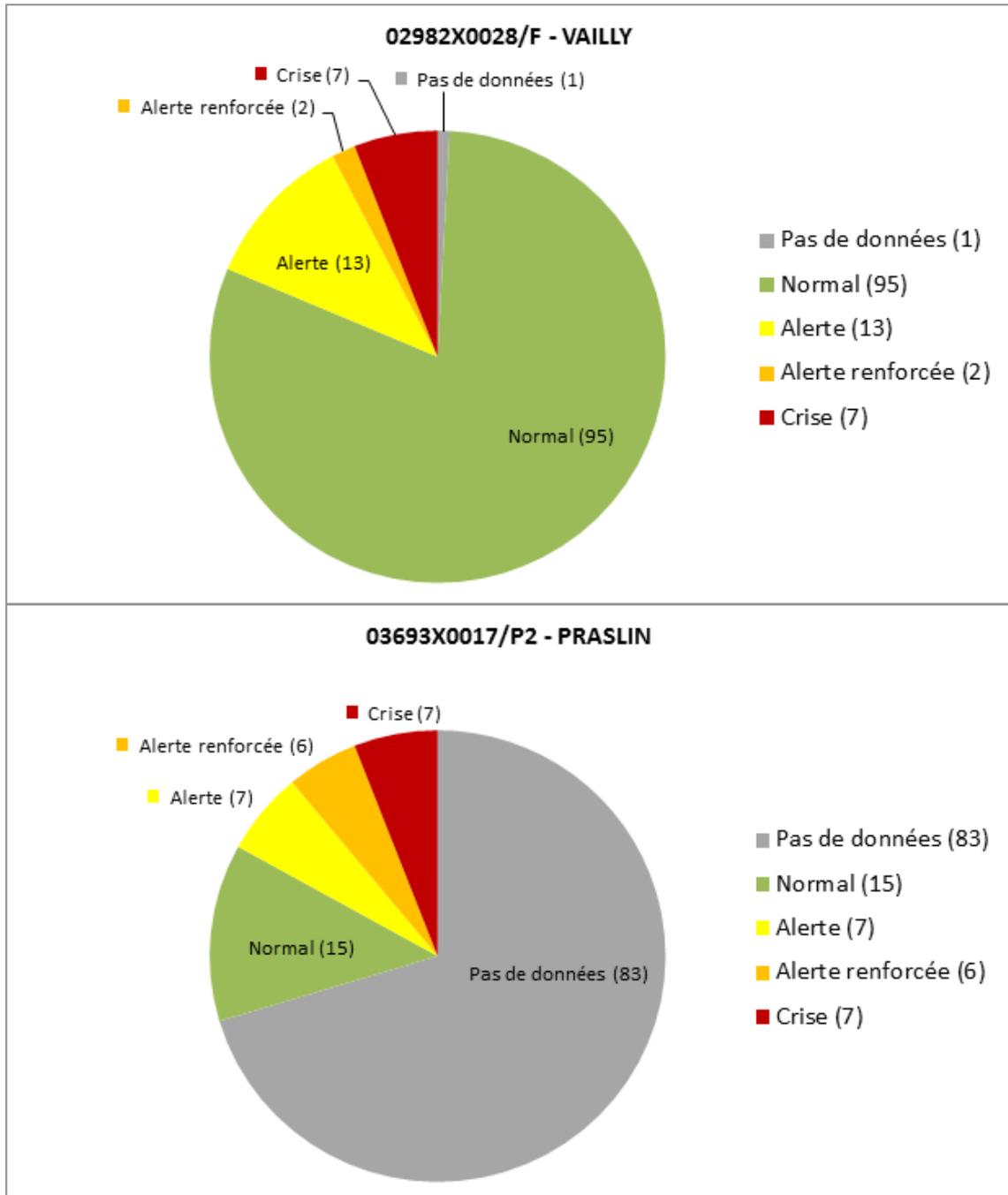
Calculé rétrospectivement entre 2000 et 2016. Les graphiques sont classés par ordre du nombre d'alertes décroissants.

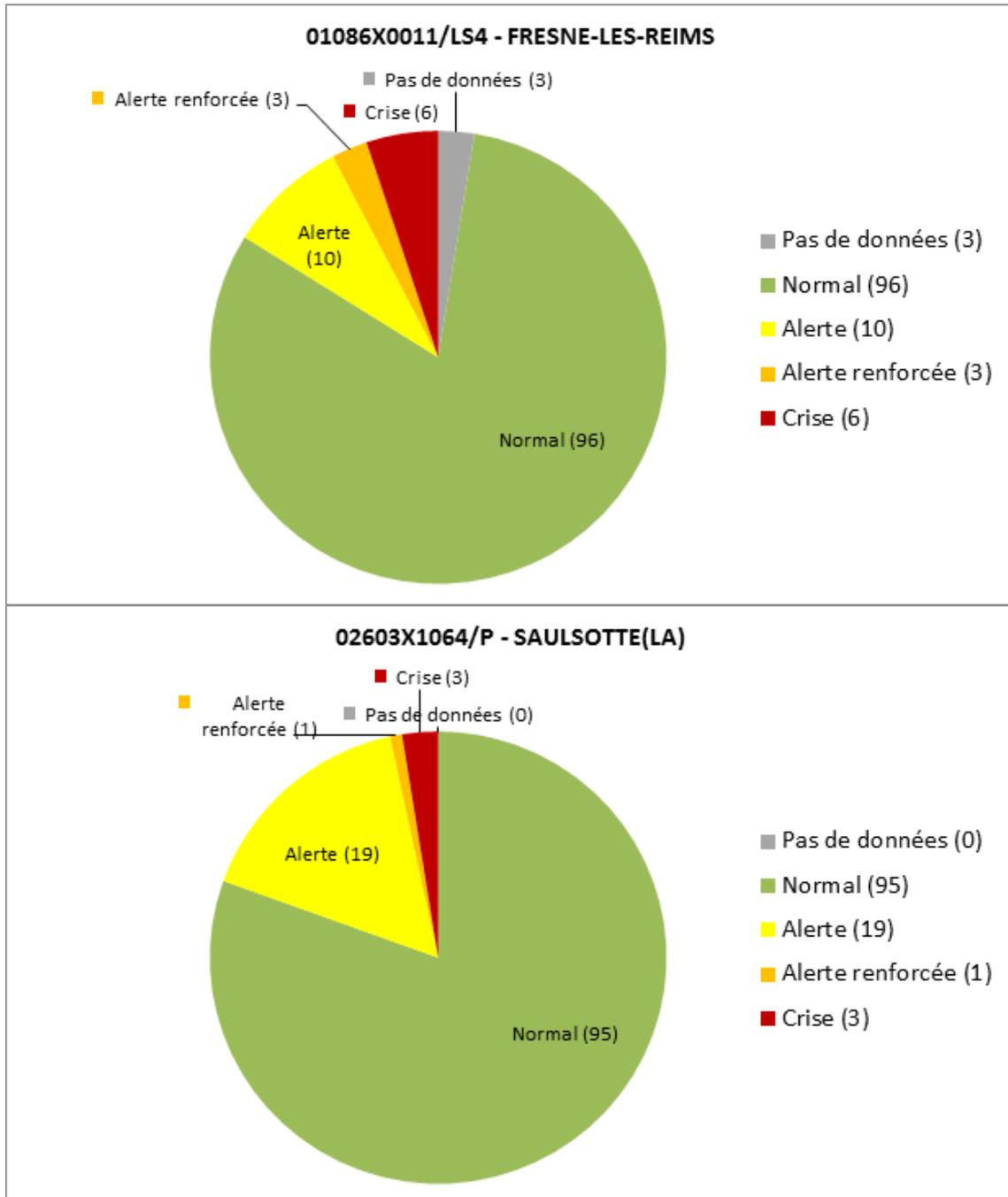


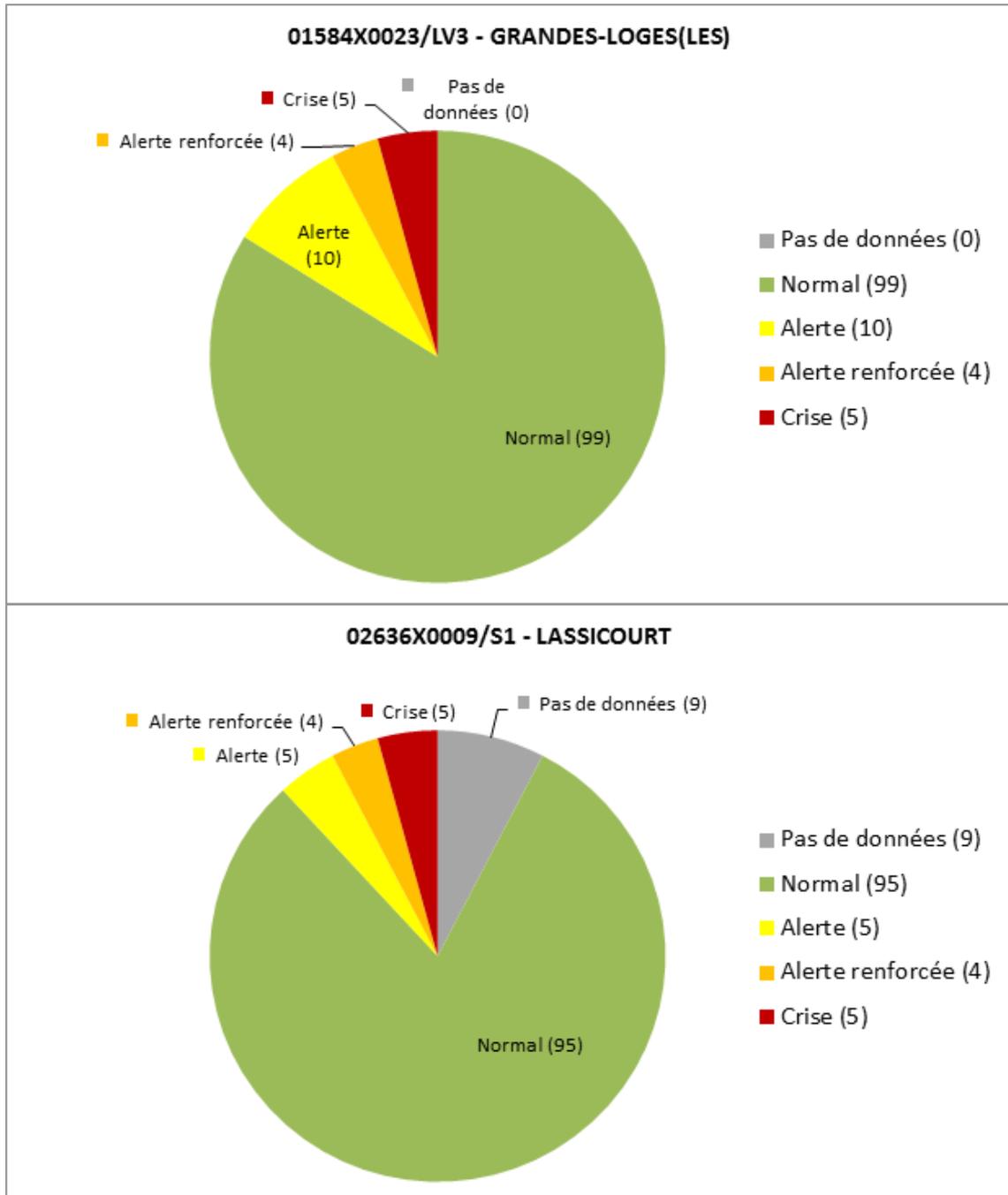


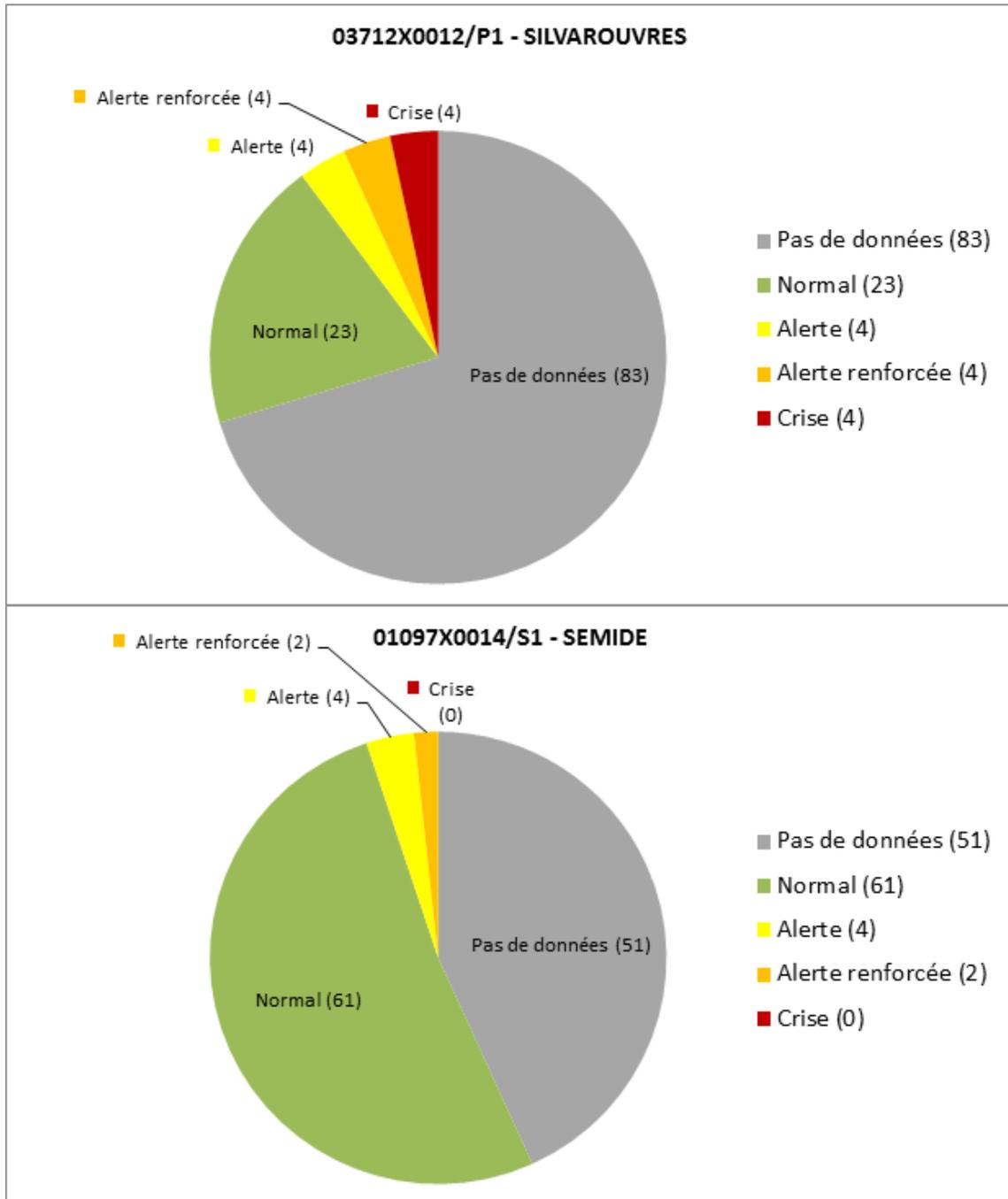


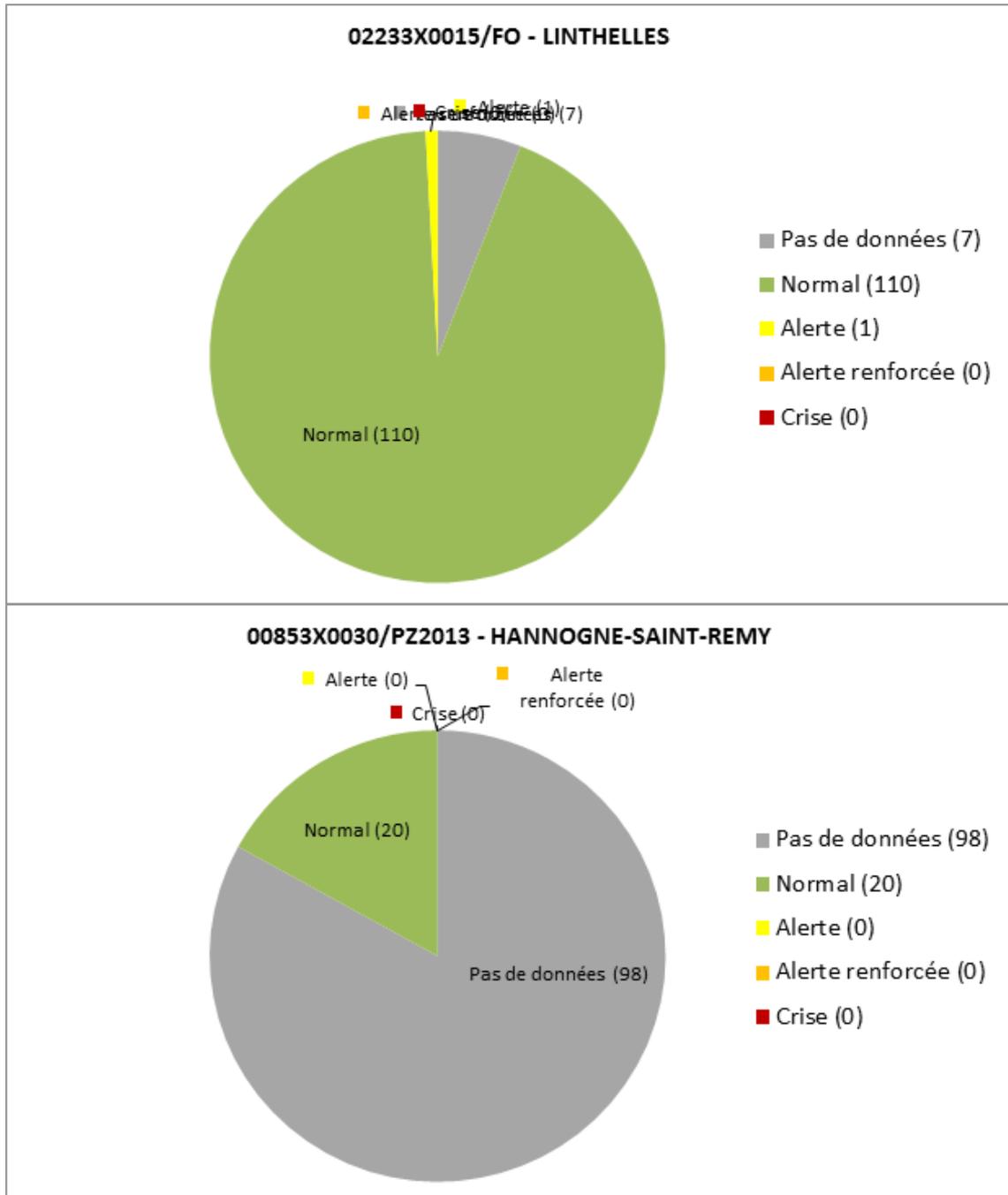


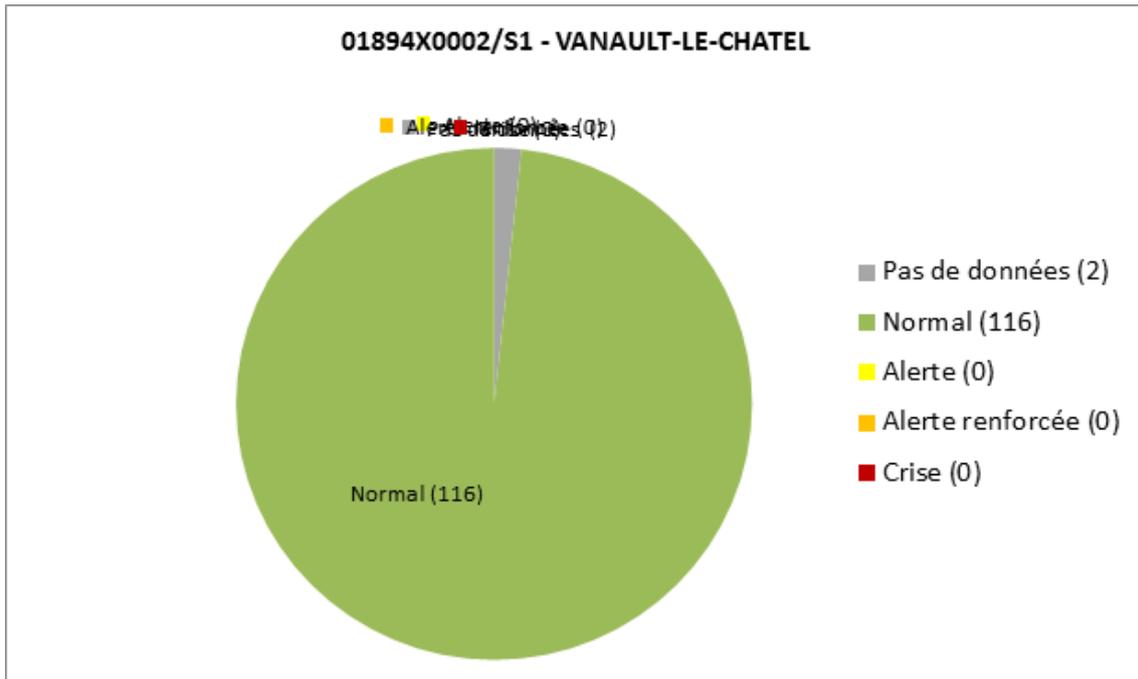






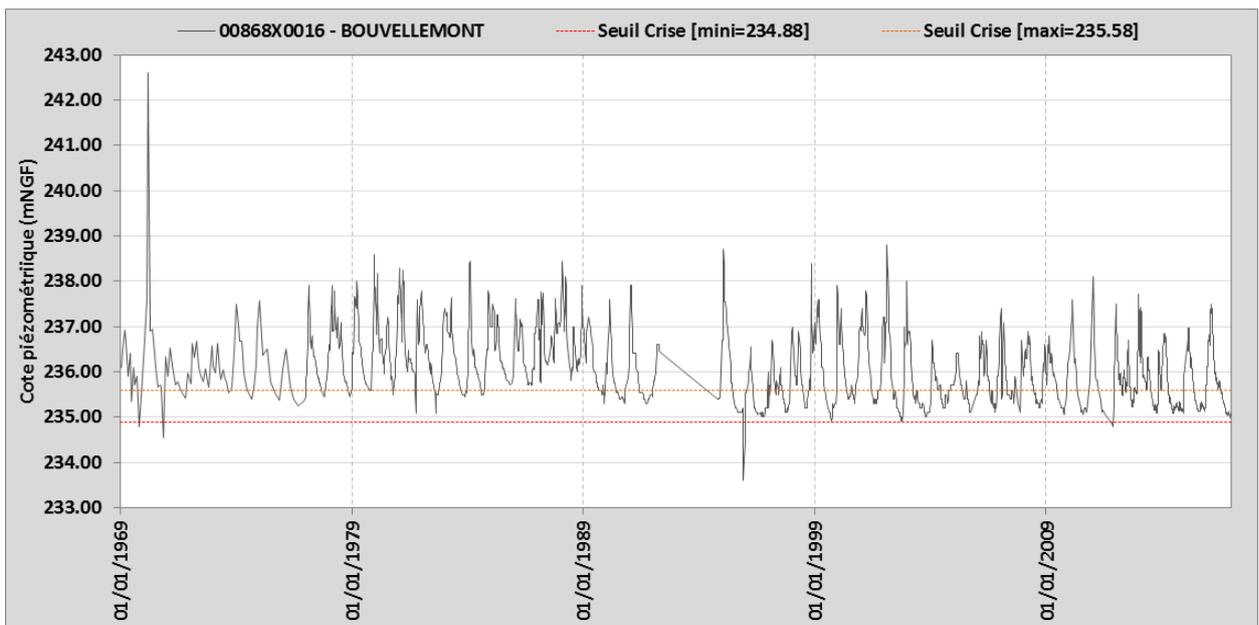
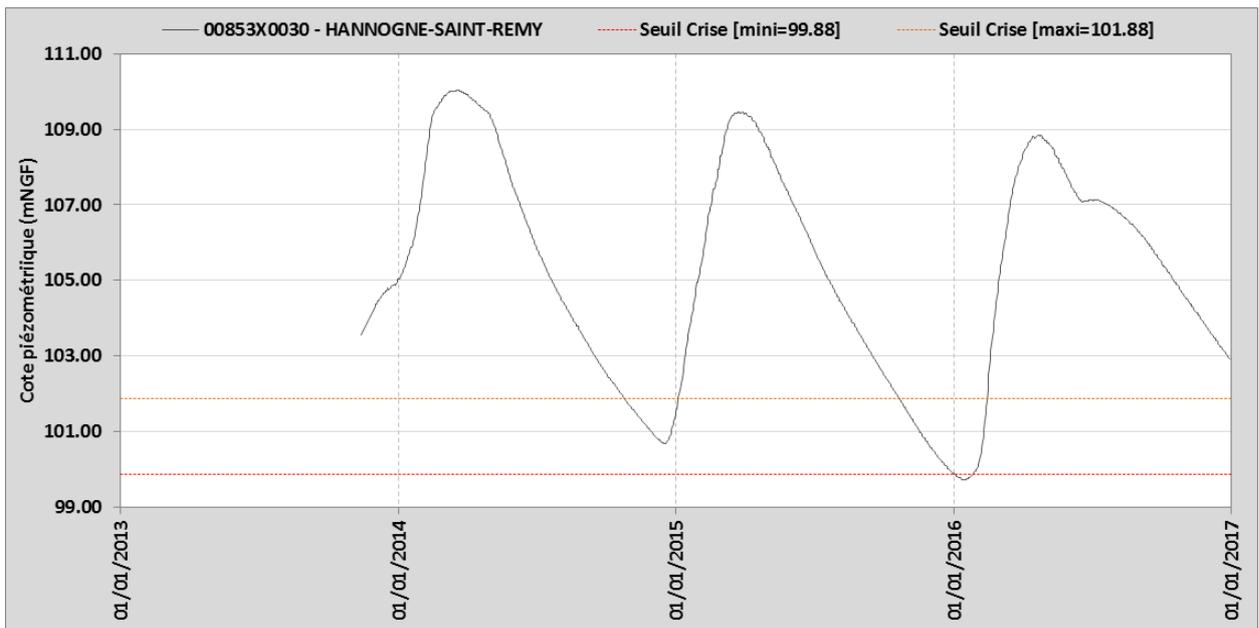


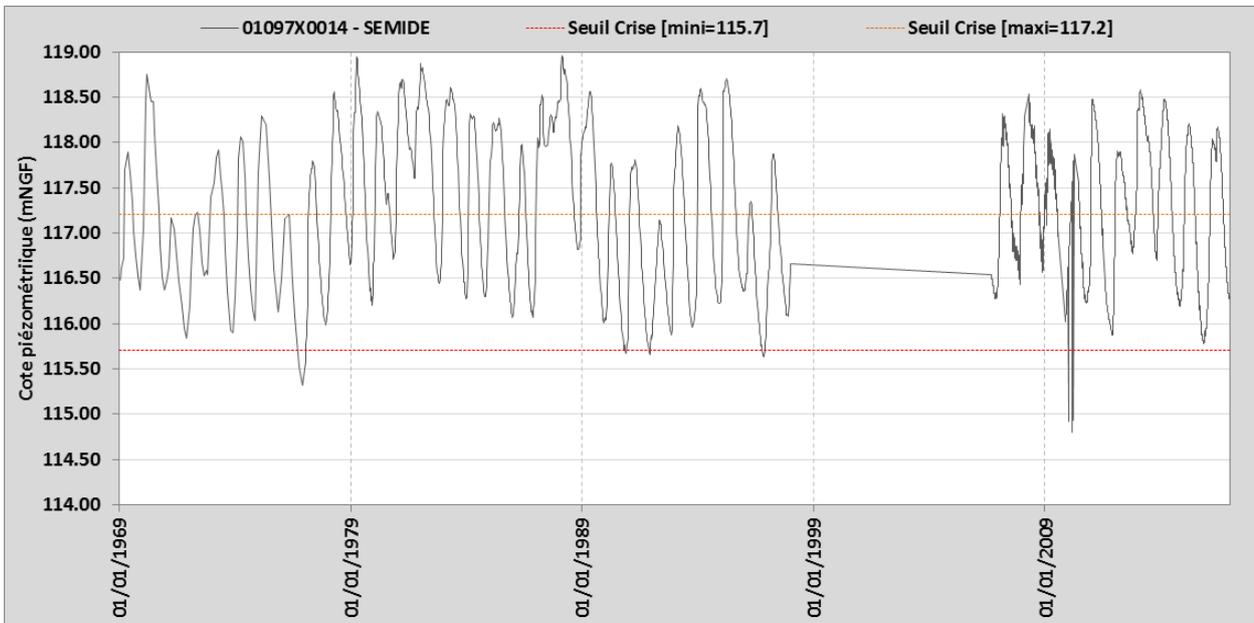
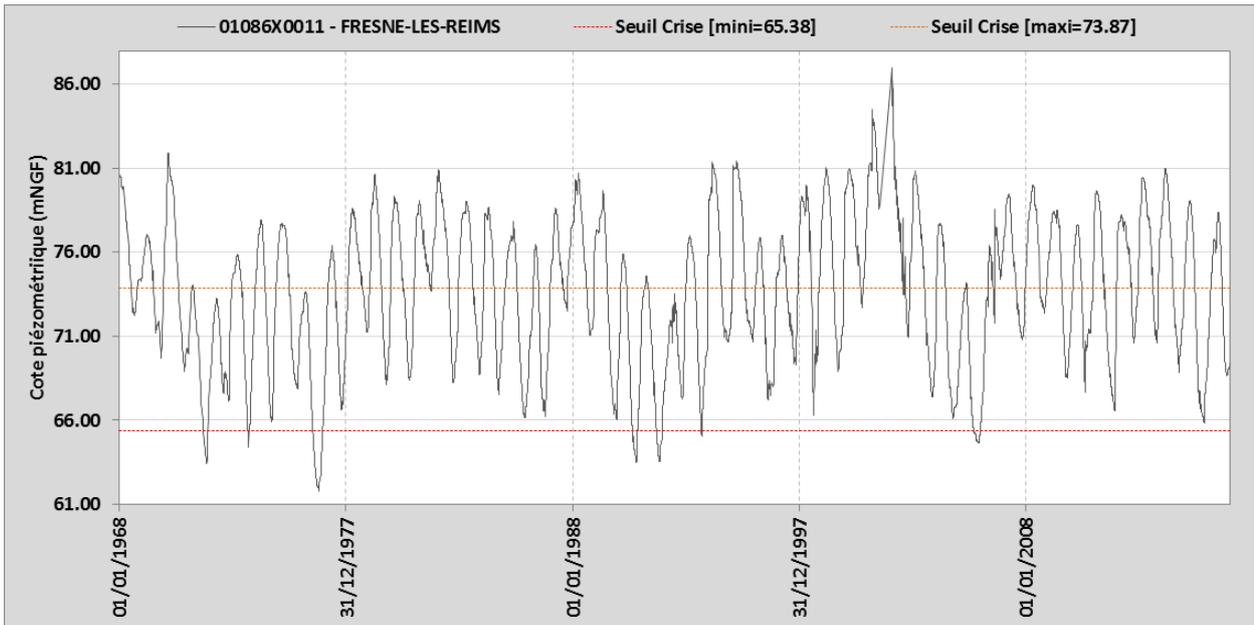


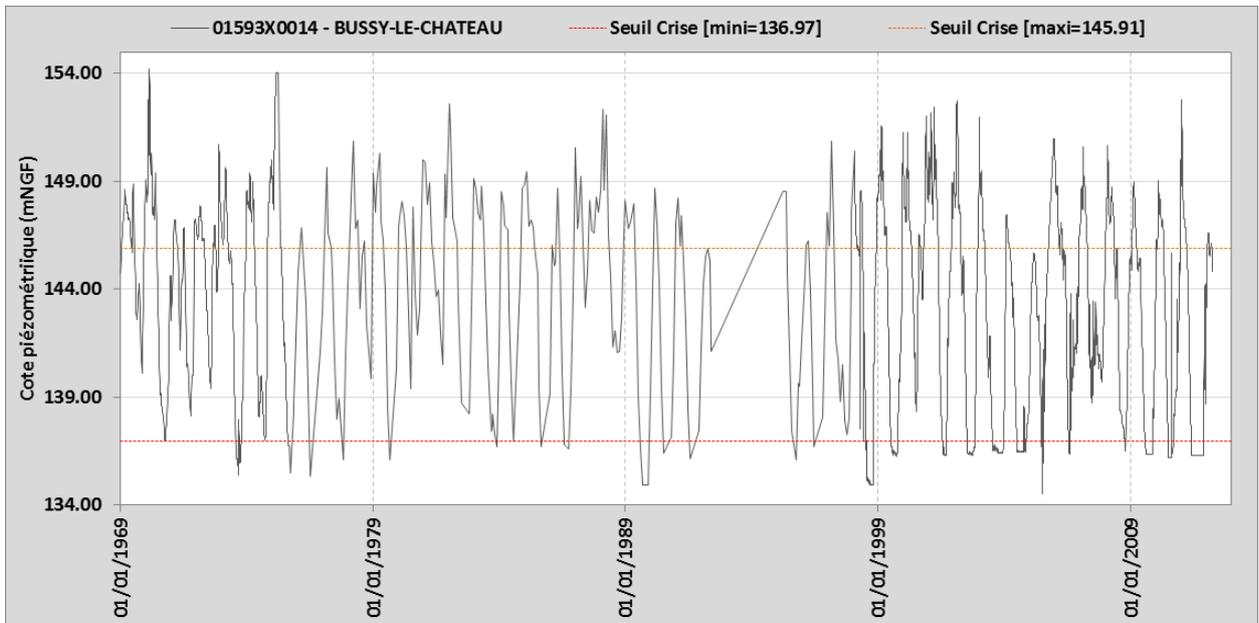
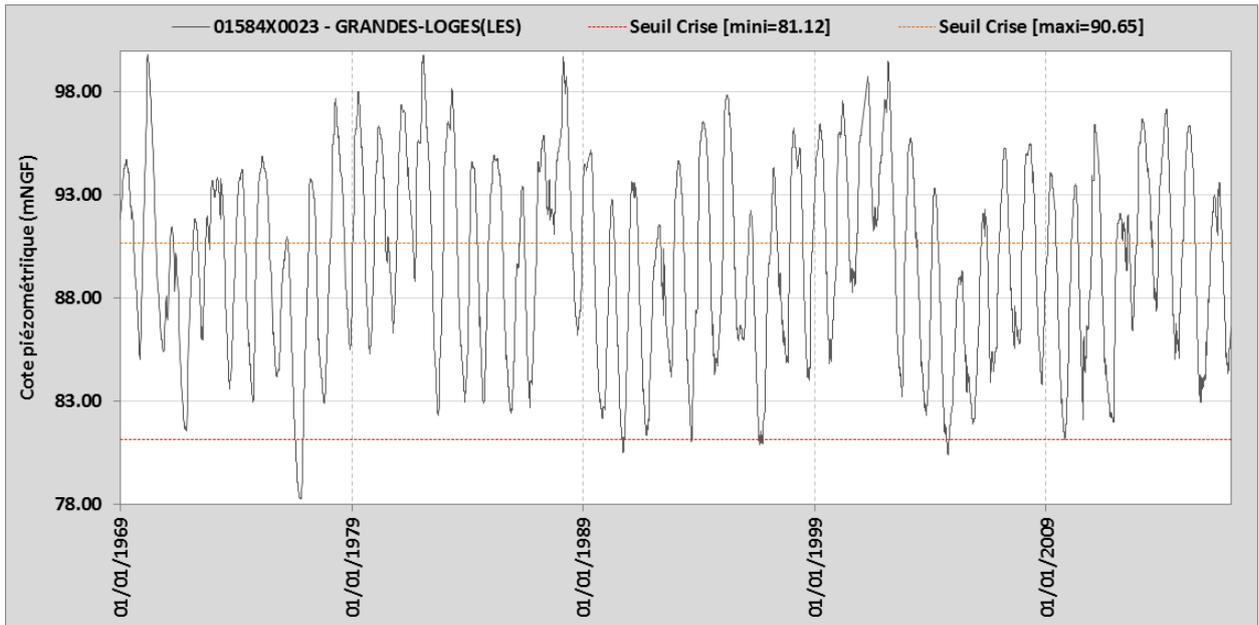


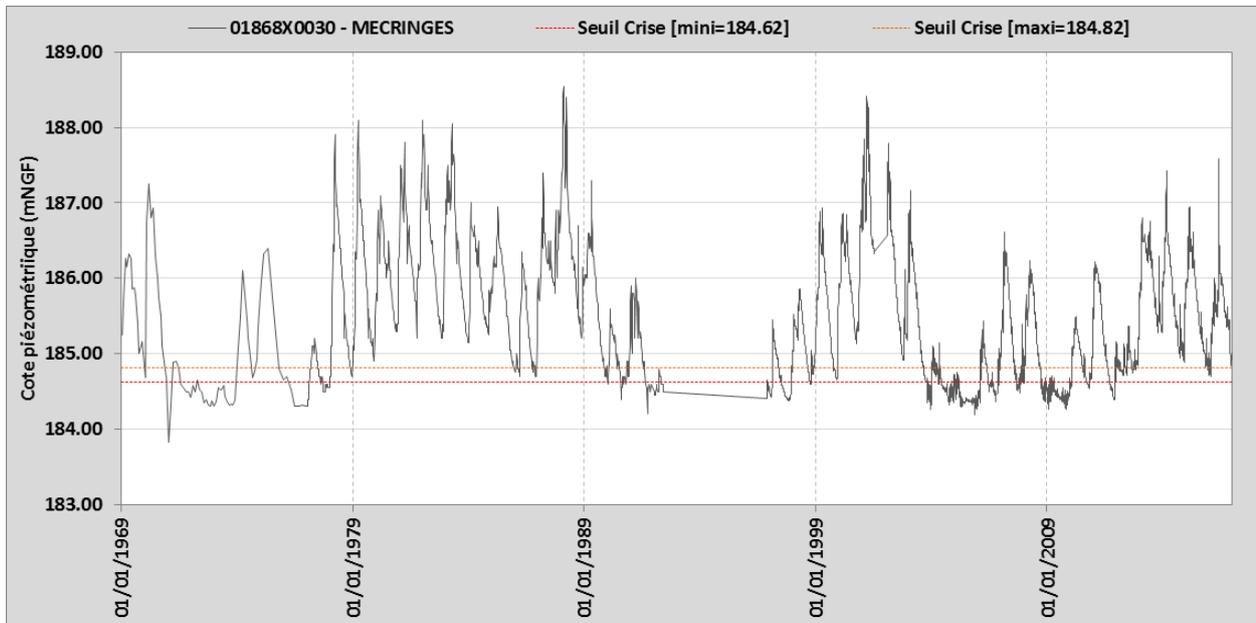
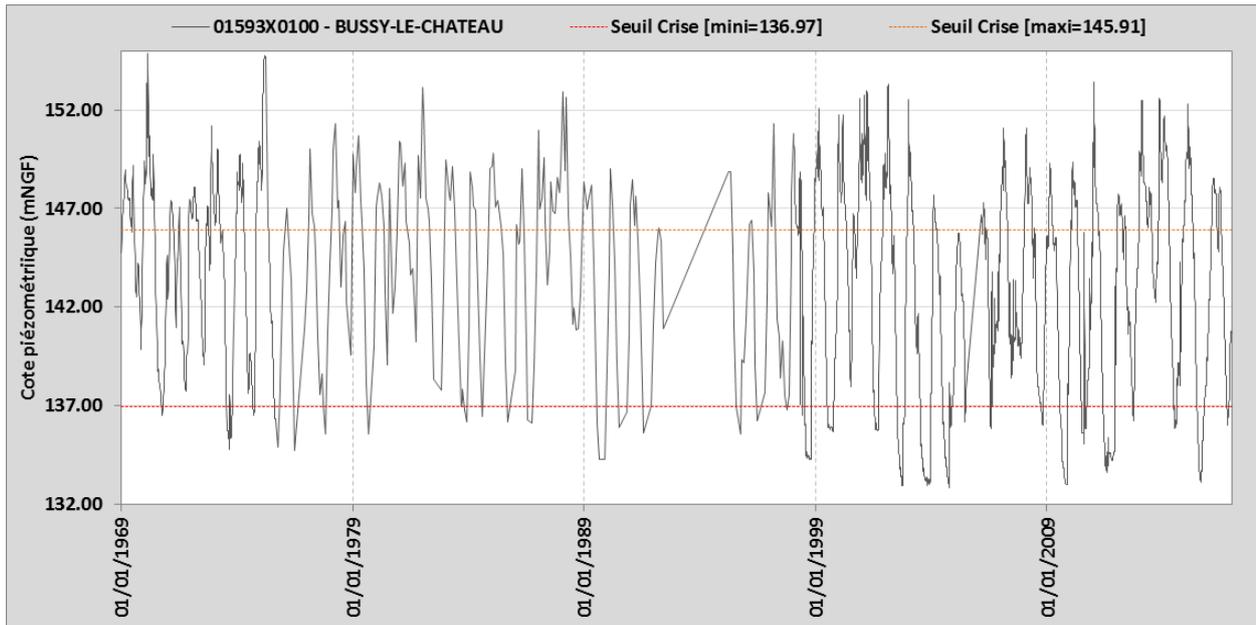
Annexe 3 :

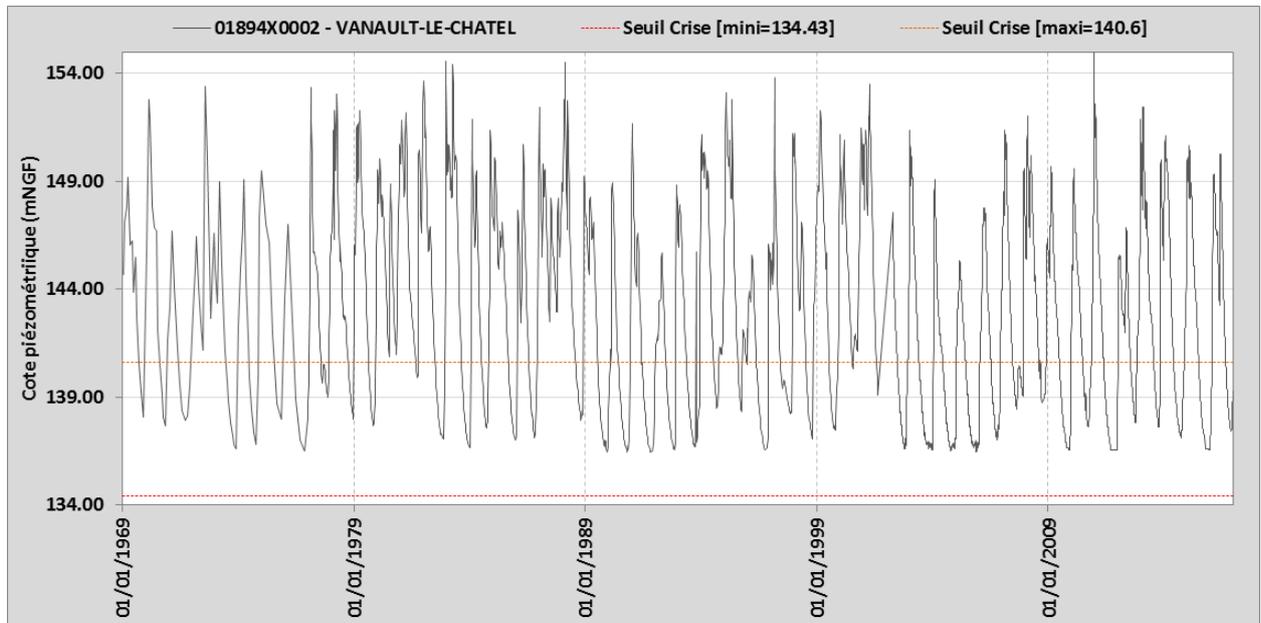
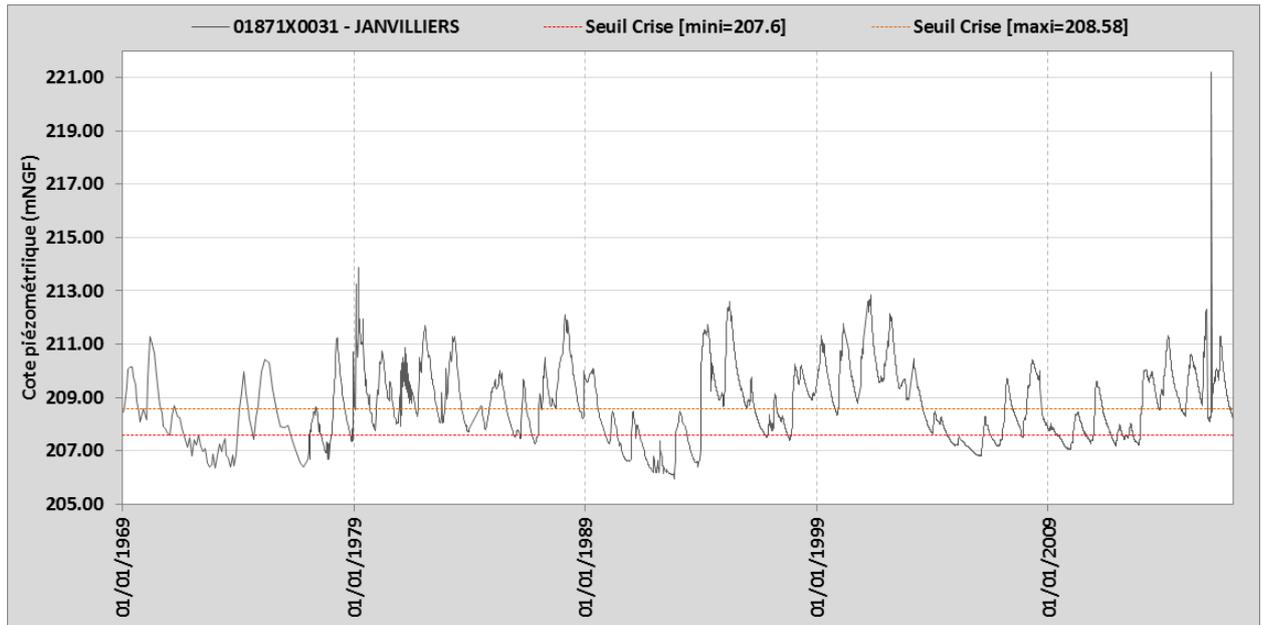
Seuils de crise minimum et maximum des indicateurs sécheresse en Champagne-Ardenne

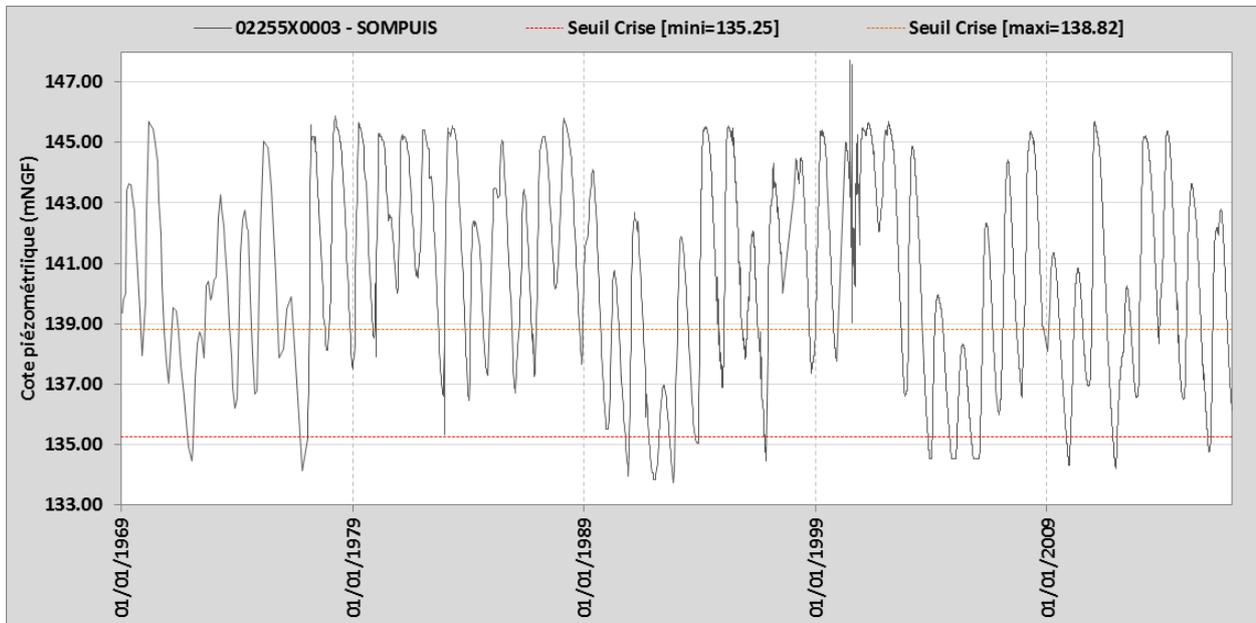
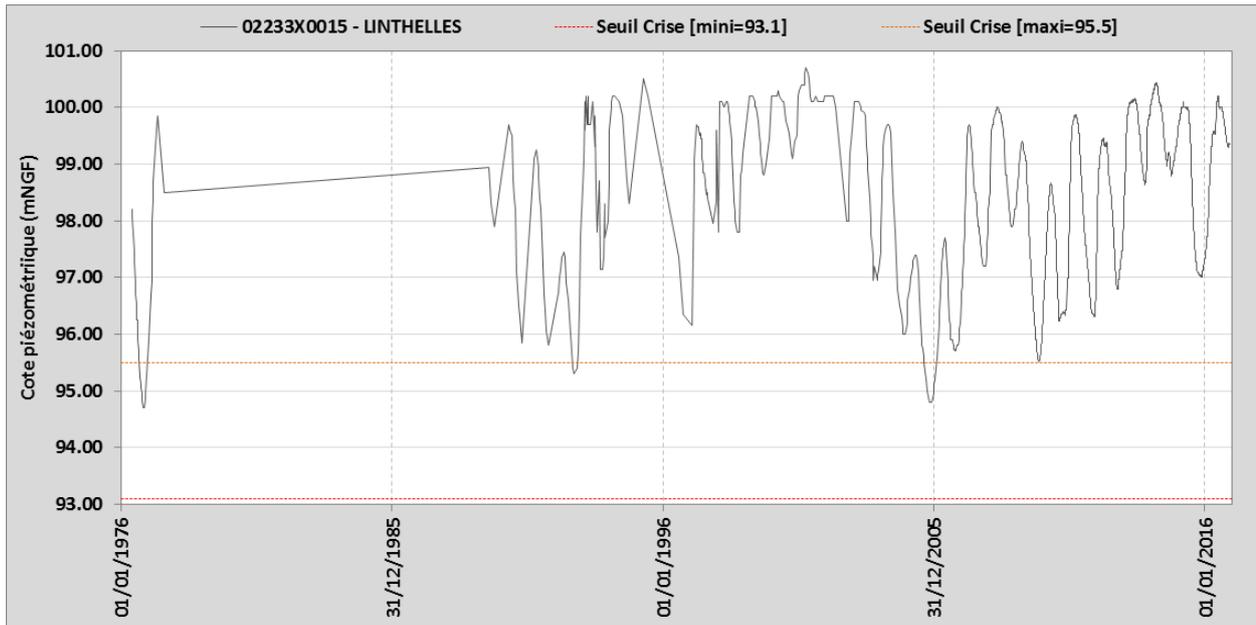


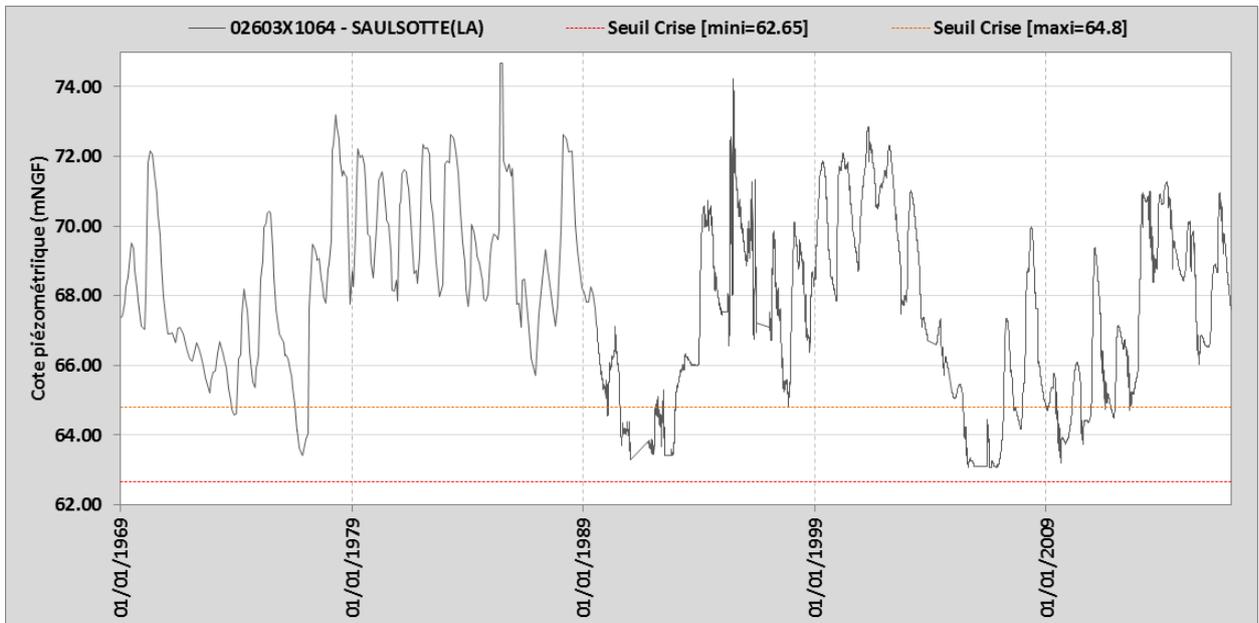
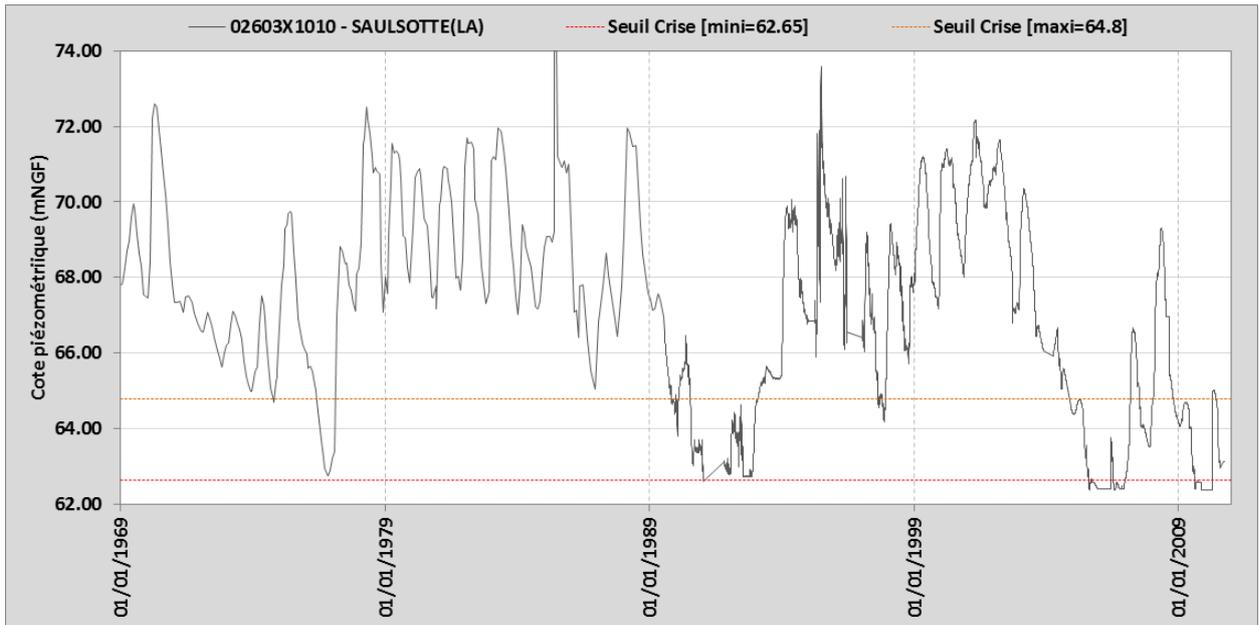


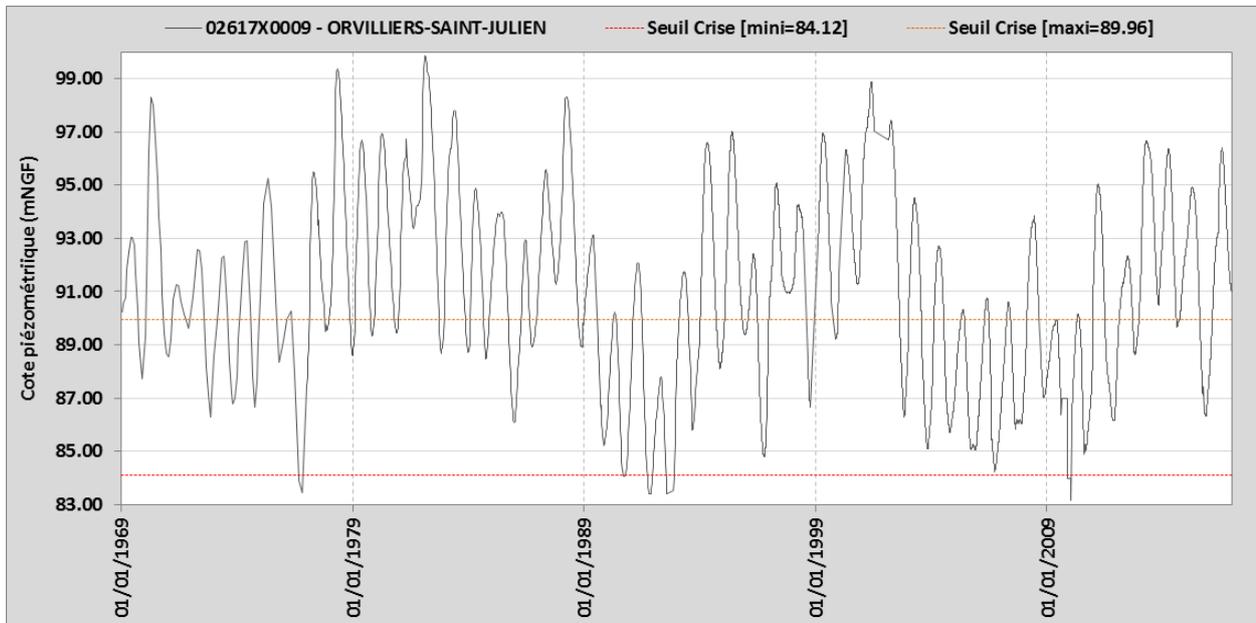
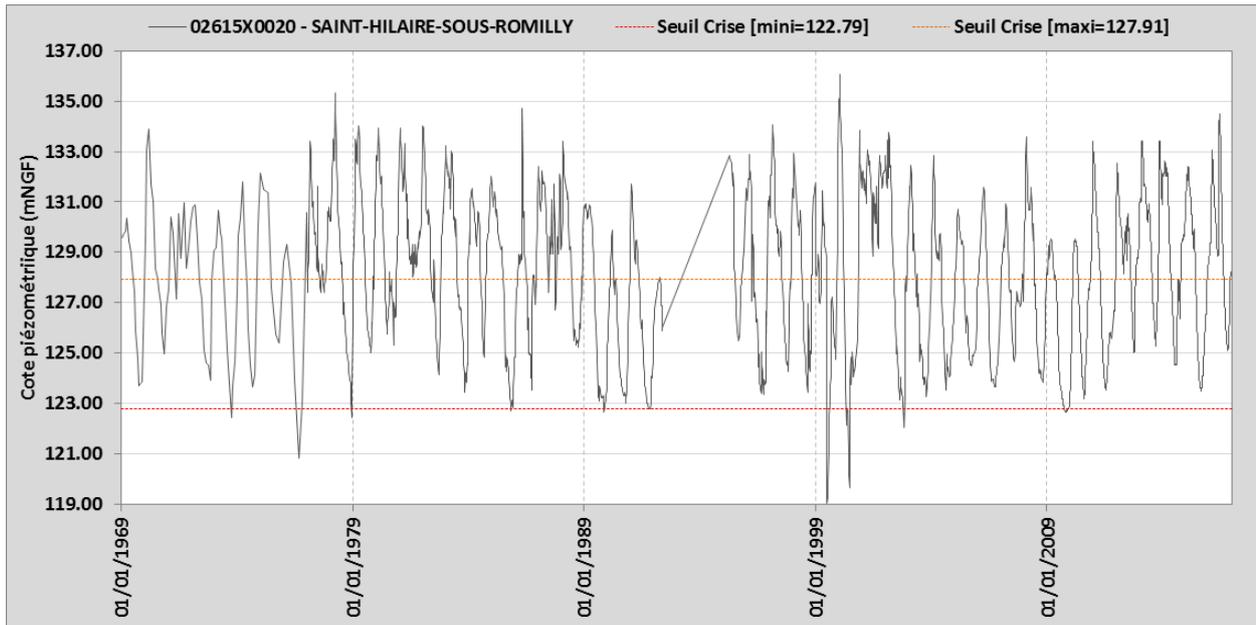


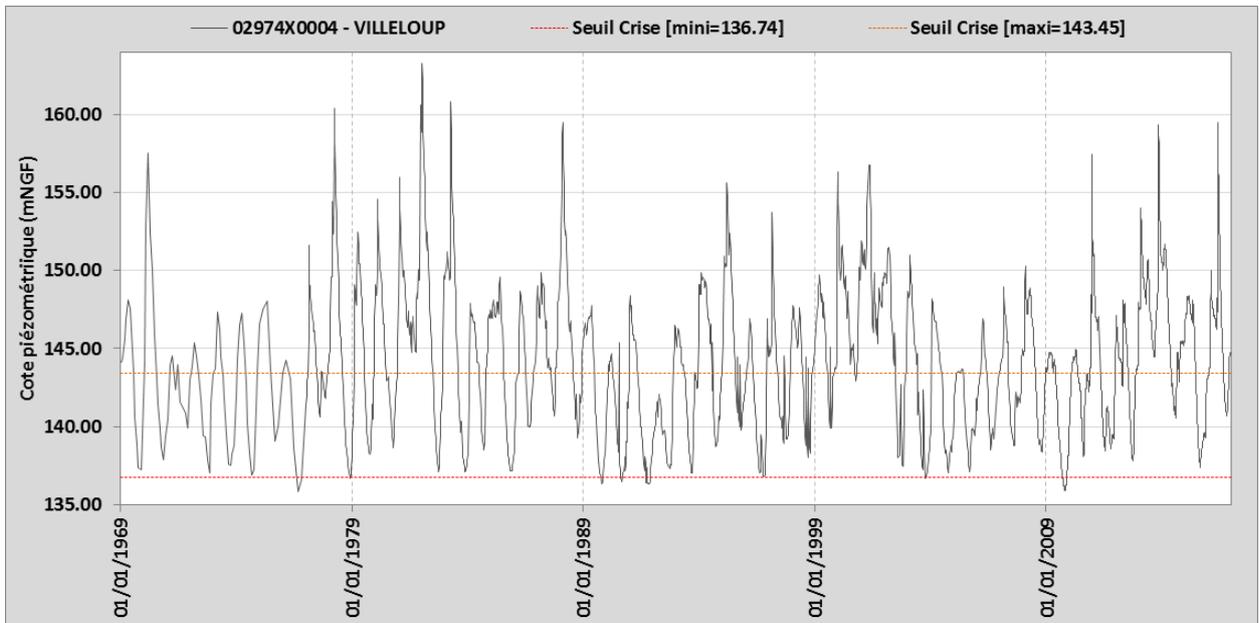
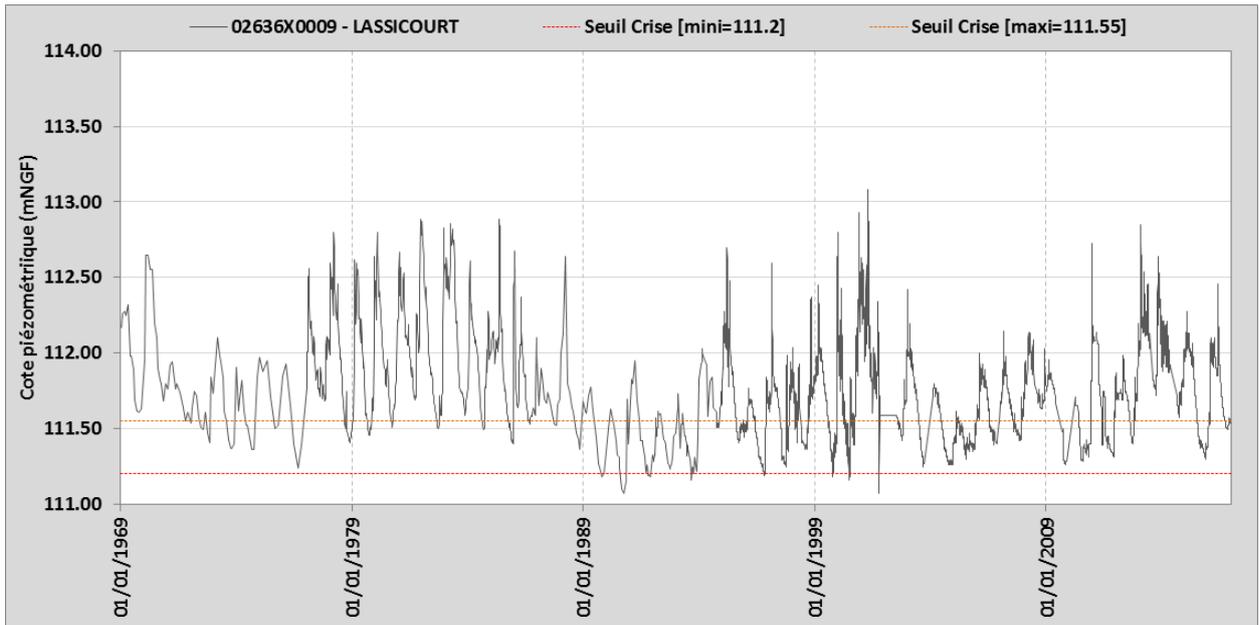


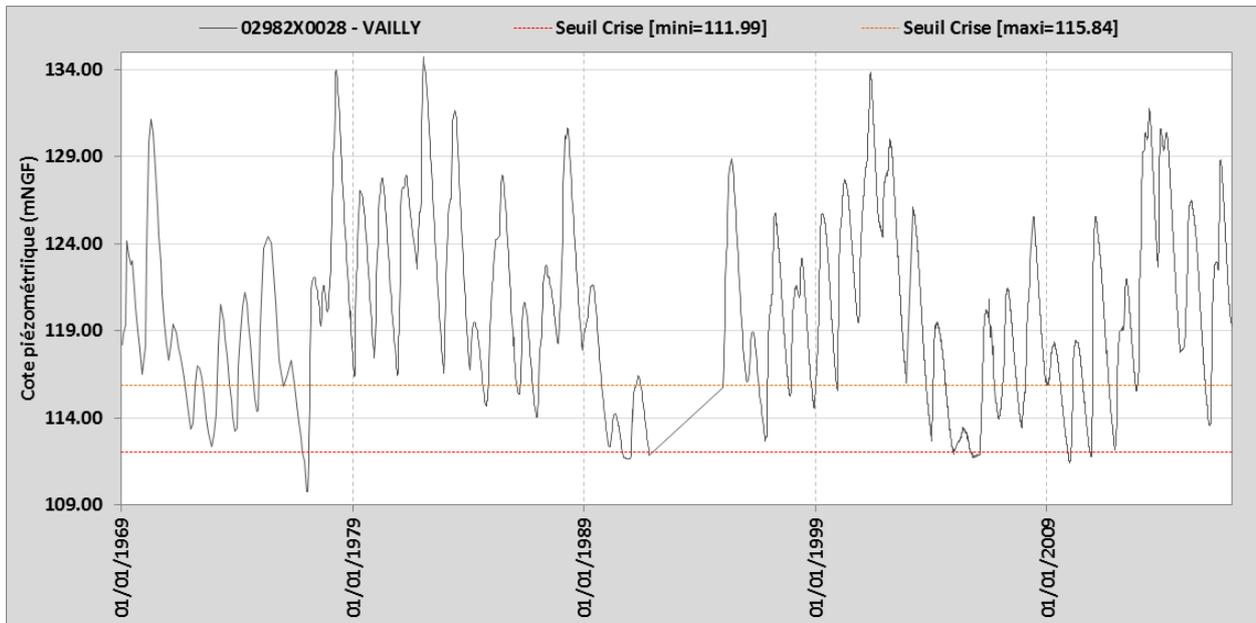
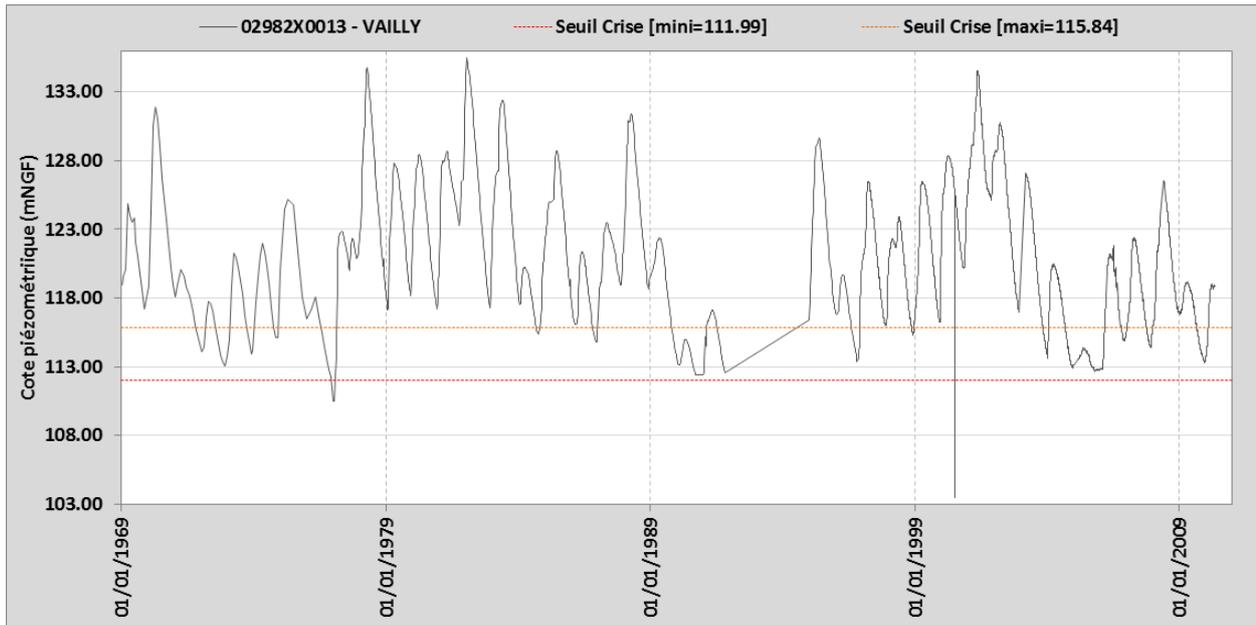


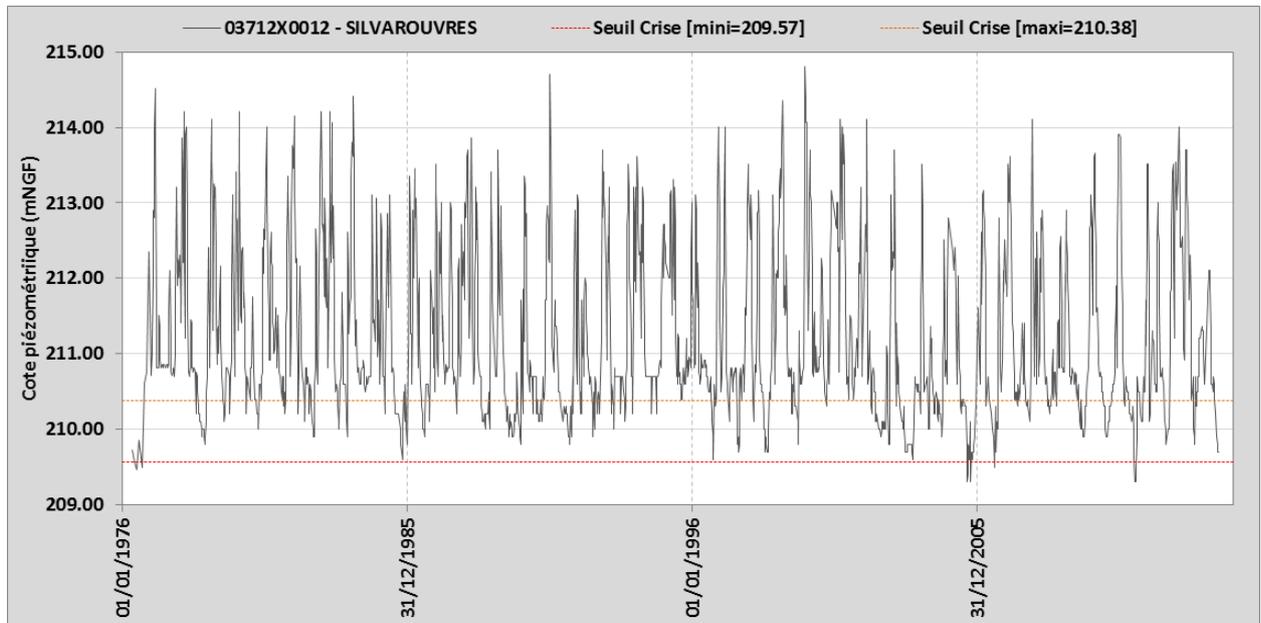
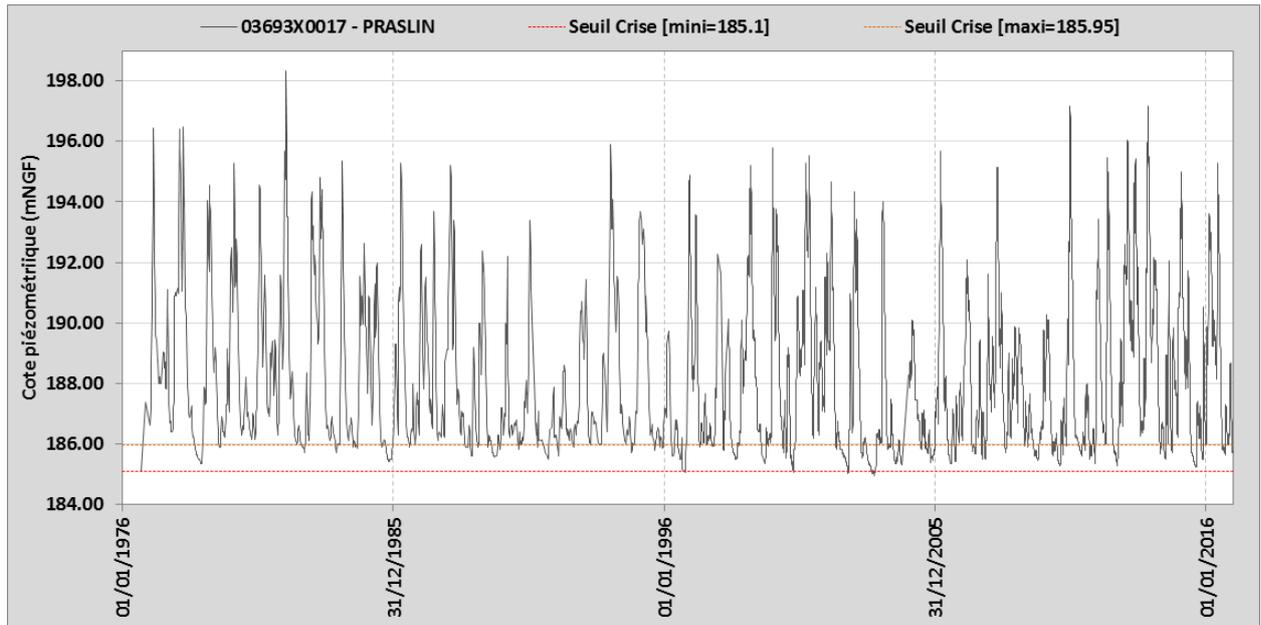












Annexe 4 :

Collecte des données et contenu du SIG

1. Collecte des données

1.1 DOCUMENTS ADMINISTRATIFS

1.1.1 Circulaire ministérielle

Une circulaire ministérielle du 18 mai 2011 a été adressée aux préfets, relative aux mesures exceptionnelles de limitation ou de suspension des usages de l'eau en période de sécheresse.

1.1.2 Arrêtés préfectoraux cadres

Nous avons collecté plusieurs arrêtés préfectoraux cadres.

◆ Pour la partie du territoire située dans le bassin Seine-Normandie

- L'arrêté cadre du 13 avril 2015 du préfet coordonnateur du bassin Seine-Normandie préconisant des mesures de gestion de l'eau sur le bassin hydrographique du bassin Seine-Normandie en période de sécheresse et définissant des seuils sur certaines rivières du bassin entraînant des mesures coordonnées de limitation provisoire des usages de l'eau et de surveillance sur ces rivières et leur nappe d'accompagnement,
- L'arrêté du 27 mai 2015 de la préfète de l'Aube fixant un cadre pour la mise en œuvre de mesures de limitation ou de suspension provisoire des usages de l'eau dans le département de l'Aube en période de sécheresse,
- L'arrêté du 9 juillet 2015 du préfet de la Haute-Marne fixant un cadre pour la mise en œuvre de mesures de limitation ou de suspension provisoire des usages de l'eau dans le département de la Haute-Marne en période de sécheresse,
- L'arrêté cadre du 22 juillet 2015 du préfet de la Marne définissant les seuils et les restrictions des usages de l'eau provenant des nappes souterraines, des cours d'eau et de leurs nappes d'accompagnement, dans le département de la Marne en période de sécheresse,
- L'arrêté du 24 juillet 2015 du préfet des Ardennes fixant un cadre pour la mise en œuvre de mesures de limitation ou de suspension provisoire des usages de l'eau dans le département des Ardennes en période de sécheresse,

Ces arrêtés départementaux expliquent notamment la définition des seuils sur les bassins versants hydrographiques à partir de la détermination des seuils (débits) fournis par station hydrométrique (alerte, alerte renforcée, crise) et d'une méthode de calcul pour obtention des notes sécheresse pour les corridors fluviaux et pour les bassins versants.

Ils expliquent également la définition des seuils sur les bassins versants hydrogéologiques (nappes) à partir de la détermination des seuils (cotes NGF) fournis par station piézométrique (alerte, alerte renforcée, crise) et d'une méthode de calcul pour obtention des notes sécheresse par bassin versant hydrogéologique.

◆ Pour le département de la Meuse (partage entre deux bassins)

- L'arrêté cadre du 27 mai 2011 de la préfète de la Meuse définissant les seuils et les restrictions des usages de l'eau provenant des nappes souterraines, des cours d'eau et de leurs nappes d'accompagnement dans le département de la Meuse.

L'arrêté définit les seuils d'alerte (alerte, crise, crise renforcée) sur les secteurs hydrographiques, pour le bassin Seine-Normandie et pour le bassin Rhin-Meuse et fournit les seuils par station hydrométrique.

◆ Pour la partie du territoire située dans le bassin Rhin-Meuse (Meuse, Moselle et Sarre)

- L'arrêté-cadre interdépartemental du 17 juin 2008 du préfet coordonnateur du bassin Rhin-Meuse et de la Moselle et des préfets du Bas-Rhin, des Ardennes, de la Haute-Marne, de Meurthe-et-Moselle, de la Meuse et des Vosges, relatif à la mise en place des principes communs de vigilance et de gestion des usages de l'eau dans les bassins versants de la Meuse, de la Moselle et de la Sarre.

L'arrêté explique la définition des valeurs-seuils de vigilance, crise et crise renforcée retenues pour chaque station hydrométrique, la définition des conditions caractérisant les périodes de « vigilance », les périodes de « crise » et les périodes de « crise renforcée » concernées par zone d'alerte (bassin versant de la Moselle et de la Sarre, bassin versant de la Meuse) et l'établissement d'un indicateur hydrologique de synthèse pour chaque zone. **Il n'y a donc pas de prise en compte de seuils pour les bassins versants hydrogéologiques (nappes), dans cet arrêté.**

◆ Pour la partie du territoire située dans le bassin Rhin-Meuse (Rhin supérieur)

- L'arrêté cadre interpréfectoral du 26 juillet 2012 des préfets du Bas-Rhin et du Haut-Rhin relatif à la mise en place de principes communs de vigilance et de gestion des usages de l'eau en cas de sécheresse ou de risque de pénurie dans les bassins versants du Rhin-supérieur

L'arrêté explique la définition des valeurs-seuils de vigilance, alerte, alerte renforcée et crise retenues pour chaque station hydrométrique. Il définit des principes de franchissement des seuils et cartographie 8 zones d'alerte. **Il n'y a donc pas de prise en compte de seuils pour les bassins versants hydrogéologiques (nappes), dans cet arrêté.**

1.2 DONNÉES EAU SOUTERRAINE

1.2.1 Stations hydrométriques de mesure des débits des cours d'eau

Ces données sont extraites de la Banque Hydro (<http://www.hydro.eaufrance.fr/>). Elles comprennent l'ensemble des stations hydrométriques du territoire et les débits mesurés par station. Un traitement est nécessaire pour les rendre exploitables, notamment dans un SIG.

1.2.2. Stations piézométriques de mesure du niveau des nappes

Ces données extraites de la banque de données ADES (<http://www.ades.eaufrance.fr/>) (Accès aux Données sur l'Eau Souterraine). Elles comprennent l'ensemble des stations piézométriques des réseaux choisis et les valeurs mesurées par jour (cote NGF en mètres). Elles sont exploitables dans un SIG (*confer* chapitre suivant).

1.2.3. Volumes de prélèvement d'eau en fonction des usages

Ces données sont extraites de la banque de données nationale sur les prélèvements en eau (BNPE) (<http://www.bnpe.eaufrance.fr/>). Elles comprennent les volumes prélevés par type d'usage (AEP et usages domestiques, irrigation), par année et par ouvrage. Le type d'eau prélevée (eau de surface, eau souterraine) est fourni. Les ouvrages sont localisés à la commune et non ponctuellement.

Nous disposons par ailleurs au BRGM du référentiel AEP (extraction de ADES) où tous les ouvrages sont localisés sous forme ponctuelle.

2. Construction d'un SIG

Un document SIG a été réalisé, avec l'outil ArcMap du logiciel Arcgis 10.2.2, sous forme de couches de type « shapefiles » (fichiers de formes avec tables attributaires). Le système de coordonnées projetées utilisé est le RGF 93 Lambert 93.

a) Contours administratifs

Les couches utilisées sont celles des contours administratifs français des régions, des départements et des communes (source IGN : disponible au BRGM).

b) Hydrologie

Les couches utilisées sont celles des cours d'eau et des bassins versants hydrographiques (régions, secteurs, sous-secteurs et zones hydrographiques) issus de la base de données BDCARTHAGE (source IGN-ONEMA : disponible au BRGM).

c) Hydrogéologie

Les couches utilisées sont celles du référentiel des masses d'eau souterraine V2 (disponible au BRGM).

d) Ouvrages de prélèvement d'eau à usage AEP

La couche utilisée est celle du référentiel AEP (disponible au BRGM) où tous les ouvrages sont localisés sous forme ponctuelle. Le référentiel AEP est une concaténation de données issues du BRGM et des ARS (base SISE-EAUX).

e) Stations hydrométriques de mesure des débits des cours d'eau

A partir des données extraites de la Banque Hydro (<http://www.hydro.eaufrance.fr/>), la couche SIG de l'ensemble des stations hydrométriques du territoire sous forme ponctuelle avec les attributs code, nom de station et coordonnées de localisation X, Y, a été créée. **Cette couche a été complétée par les attributs relatifs aux valeurs seuils de débits en m³/s (seuil d'alerte, seuil de crise et seuil de crise renforcée) définies par station hydrométrique et indiqués dans les arrêtés préfectoraux cadres qui définissent par département les seuils et les restrictions des usages de l'eau provenant des nappes souterraines, des cours d'eau et de leurs nappes d'accompagnement en période de sécheresse.** La date de l'arrêté préfectoral est également fournie dans la couche. Les seuils ont été définis dans les arrêtés préfectoraux de tous les départements du Grand Est.

f) Stations piézométriques de mesure du niveau des nappes

A partir des données extraites de la banque de données ADES (<http://www.ades.eaufrance.fr/>) (Accès aux Données sur l'Eau Souterraine), la couche SIG de l'ensemble des stations piézométriques du Grand Est sous forme ponctuelle avec ses attributs (code BSS, coordonnées de localisation X, Y, nom de commune, code de masse d'eau, nom de masse d'eau, date de mesure (jour), valeur mesurée (cote NGF en mètres)) a été créée. **Cette couche a été complétée par les attributs relatifs aux valeurs seuils de cotes NGF en mètres (seuil d'alerte, seuil d'alerte renforcée et seuil de crise) définies par station piézométrique et par mois et indiqués dans les arrêtés préfectoraux cadres qui définissent par département les seuils et les restrictions des usages de l'eau provenant des nappes souterraines, des cours d'eau et de leurs nappes d'accompagnement en période de sécheresse.** Les seuils ont été définis dans les arrêtés préfectoraux des seuls départements de l'ex-région Champagne-Ardenne.

g) Stations d'observation de l'écoulement des cours d'eau

A partir des données extraites de l'Observatoire national des étiages ONDE (<http://onde.eaufrance.fr/>) de l'ONEMA, la couche SIG de l'ensemble des stations d'observation du Grand Est sous forme ponctuelle avec ses attributs (code, nom de la station, année d'observation, résultat de l'observation (« écoulement visible », « écoulement non visible », « assec »), entité hydrologique, nom de commune, nom de bassin, coordonnées de localisation X, Y) a été créée. Cette couche permet de vérifier l'état d'écoulement observé par cours d'eau et par année.

h) Liste des collectivités sujettes à pénuries d'eau récurrentes dans le bassin Rhin-Meuse

L'Agence de l'eau Rhin-Meuse nous a fourni un tableau listant les collectivités du bassin **sujettes à pénuries d'eau récurrentes** dans le bassin qui peuvent prétendre à des modalités d'aides plus intéressantes en particulier concernant les travaux de lutte contre les fuites. Cette liste est établie à l'échelon départemental « à dire d'experts ».

Nous l'intégrons sous forme de couche SIG afin d'afficher cartographiquement à titre d'information les communes concernées.

i) Bassins en déséquilibre quantitatif potentiel dans le bassin Seine-Normandie

L'Agence de l'eau Seine-Normandie Meuse nous a fourni la couche SIG des BDQP (bassin en déficit quantitatif potentiel) pour les eaux superficielles et les eaux souterraines. Cette couche correspond aux cartes 24 et 25 du SDAGE Seine-Normandie.

Dans la table attributaire, une valeur d'indice de 1 correspond aux bassins versants en déséquilibre et des valeurs d'indice de 2 et 3 aux bassins en fort déséquilibre.

Un guide méthodologique qui a permis à l'Agence de calculer ces indicateurs pour les eaux ESU et pour les ESO nous a été transmis. La méthodologie a été complétée par les dires d'experts et par des études quantitatives réalisées au niveau local (notamment, l'étude BRGM Gardénia sur les BV crayeux de 2013 : BRGMRP-61371).



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

Direction régionale Grand Est
1, avenue du Parc de Brabois
54280 – Vandœuvre-lès-Nancy – France
Tél. : 03.83.44.81.49