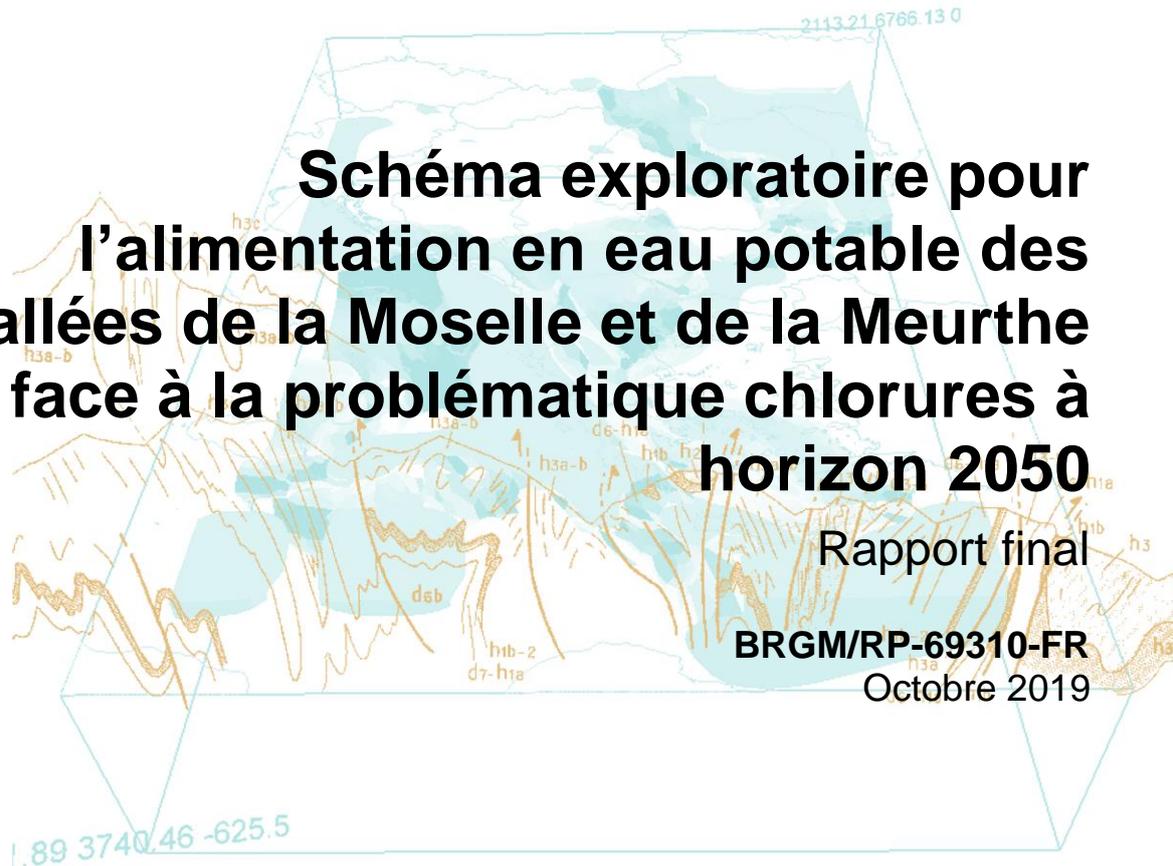




Schéma exploratoire pour l'alimentation en eau potable des vallées de la Moselle et de la Meurthe face à la problématique chlorures à horizon 2050

Rapport final

BRGM/RP-69310-FR
Octobre 2019



**AGENCE
DE L'EAU
RHIN•MEUSE**

ÉTABLISSEMENT PUBLIC DU MINISTÈRE DE L'ÉCOLOGIE,
DU DÉVELOPPEMENT ET DE L'AMÉNAGEMENT DURABLES



Géosciences pour une Terre durable

brgm

Schéma exploratoire pour l'alimentation en eau potable des vallées de la Moselle et de la Meurthe face à la problématique chlorures à horizon 2050

Rapport final

BRGM/RP-69310-FR

Octobre 2019

Étude réalisée dans le cadre des opérations
de Service public du BRGM - AP16LOR019

N. Neverre

J.-B. Charlier, F. Moiroux, M. Grémont

Vérificateur :

Nom : Jean-Christophe MARECHAL

Fonction : Responsable d'unité

Date : 13/11/19

Signature :

Approbateur :

Nom : Dominique MIDOT

Fonction : Directeur régional Grand Est

Date : 02/12/19

Signature :

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

Contact : qualite@brgm.fr



**AGENCE
DE L'EAU
RHIN•MEUSE**

ÉTABLISSEMENT PUBLIC DU MINISTÈRE DE L'ÉCOLOGIE,
DU DÉVELOPPEMENT ET DE L'AMÉNAGEMENT DURABLES



Géosciences pour une Terre durable

brgm

Mots-clés : Alimentation en Eau Potable (AEP), Qualité de l'eau, Chlorures, Eaux souterraines, Changement climatique, Demande en eau potable, Hydrogéologie, Socio-économie

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

Neverre N., Charlier J-B., Moiroux F., Grémont M. (2019) – Schéma exploratoire pour l'alimentation en eau potable des vallées de la Moselle et de la Meurthe face à la problématique chlorures à horizon 2050. Rapport final. BRGM/RP-69310-FR, 214 p, 96 fig., 19 tabl., 13 ann., 1 CD.

© BRGM, 2019, ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM.

Synthèse

Ce document présente les principaux résultats du schéma exploratoire élaboré par le Brgm et l'Agence de l'eau Rhin-Meuse en vue d'identifier les vulnérabilités du schéma d'alimentation en eau potable (AEP) des collectivités situées dans les vallées de la Meurthe et de la Moselle face à la problématique chlorure à horizon 2050.

Le territoire d'étude se situe le long de l'axe Mosellan en aval des soudières et de la confluence avec le Sânon, sur les départements de la Meurthe-et-Moselle (54) et de la Moselle (57), de la métropole du Grand Nancy au sud à la frontière avec le Luxembourg au nord. Il se compose de l'ensemble des Unités de Gestion de l'Eau (UGE) prélevant dans les alluvions de la Moselle ou susceptibles de sécuriser leur alimentation en eau potable à partir des alluvions de la Moselle, et comprend 219 communes.

L'approche méthodologique mise en œuvre est la modélisation du schéma AEP, sur le périmètre d'étude dans son ensemble. Cette approche permet de simuler et donc d'explorer les impacts de différents scénarios sur l'approvisionnement en eau potable, en tenant compte de l'ensemble des ressources et infrastructures existantes et de toutes les interconnexions existant entre les différentes UGE. La démarche a mobilisé l'expertise des acteurs du territoire, d'une part pour collecter les informations nécessaires et les valider et d'autre part pour co-construire les différents scénarios à explorer, de façon à produire des résultats pertinents.

Trois grands types de scénarios futurs ont été élaborés puis simulés à l'aide du modèle : 1) des scénarios d'évolution des besoins en eau ; 2) des scénarios d'évolution des concentrations en chlorures dans les alluvions de la Moselle sous changement climatique ; et 3) des scénarios de crise (rupture de canalisation et pollutions diffuses). Ces scénarios permettent de rendre compte des principaux enjeux susceptibles d'impacter l'alimentation en eau potable sur le territoire d'étude à horizon 2050 dans le cadre de la problématique chlorures.

Afin de construire les scénarios d'évolution des concentrations en chlorures dans les alluvions de la Moselle sous changement climatique à horizon 2050, une analyse hydrologique et hydrogéologique a été réalisée afin de préciser le contexte de contamination des eaux de surface et souterraines, à travers notamment les échanges surface/souterrain existant entre la Moselle et sa nappe alluviale. Les données disponibles n'étant pas suffisantes pour modéliser la dynamique des rejets des soudières et leur impact sur les concentrations en chlorures en eaux souterraines, il est uniquement possible de simuler des scénarios où le cadre réglementaire et la modulation des rejets restent inchangés. Une difficulté à laquelle l'analyse hydrogéologique s'est confrontée est la faible fréquence des données de concentrations en chlorures dans les eaux souterraines sur certains secteurs. Une analyse de l'incertitude associée à cette faible fréquence des données a donc été réalisée, afin de prendre en compte l'impact de l'incertitude sur les résultats. Trois scénarios climatiques à horizon 2050 ont été construits, correspondant à trois années hydrologiques type : 1) année moyenne ; 2) année sèche en début de période sèche ; et 3) année sèche en fin de période sèche. Chacun de ces scénarios est décliné en trois variantes, afin de prendre en compte l'incertitude associée à la faible fréquence des données de concentrations en chlorures en eaux souterraines : variante probable, variante optimiste et variante pessimiste.

La simulation des différents scénarios à horizon 2050 avec le modèle du schéma AEP a permis de mettre en évidence un certain nombre de résultats.

D'une part, les résultats montrent l'existence d'une zone vulnérable dans la moitié sud du périmètre d'étude, autour d'Atton et de la boucle de Loisy. Cette vulnérabilité est liée à une dépendance de l'AEP aux alluvions de la Moselle dans une zone de concentrations en chlorures élevées, en particulier pour l'UGE d'Atton. Dans cette zone, l'intensité des situations de défaillance attendues est fortement affectée par l'incertitude. L'incertitude quant à la prévision du nombre de jours de dépassements des seuils de concentrations en chlorures se traduit en effet par une incertitude quant au nombre de jours de défaillance. Toutefois, les résultats s'accordent quant à l'identification de la vulnérabilité de cette zone, soulignant un besoin de sécurisation pérenne. Des scénarios volontaristes de maîtrise des rendements (politique de gestion patrimoniale) et/ou de maîtrise de la demande (installation d'équipements hydro-économiques, évolution des comportements, etc.) peuvent permettre d'atténuer ou résorber les situations de défaillance dans les UGE modérément vulnérables, dépendantes des alluvions mais disposant également de ressources alternatives. Par contre, ils ne peuvent pas être suffisants pour l'UGE d'Atton, qui dépend entièrement des alluvions et pour laquelle une autre solution de sécurisation complémentaire est donc dans tous les cas nécessaire face aux dépassements des seuils de concentration en chlorures dans les alluvions.

D'autre part, les résultats soulignent une forte dépendance vis-à-vis de la ressource du Rupt de Mad dans la partie nord du périmètre d'étude, autour de l'UGE de Metz et des UGE achetant de l'eau à l'UGE de Metz. Les ressources alternatives ne sont pas suffisantes pour compenser une crise sur la ressource du Rupt de Mad dans l'état actuel des infrastructures. Un besoin de sécurisation en secours apparaît nécessaire. L'intensité des situations de défaillance générées par les crises est peu affectée par le type d'année climatique ou l'incertitude. Il est donc possible de la quantifier de façon relativement fiable. À noter que deux leviers pouvant être actionnés pour atténuer ces situations de crise ont d'ores et déjà été considérés dans la présente étude. Premièrement, la disponibilité de la prise d'eau de secours sur le canal de Jouy a été considérée. Elle permettrait d'atténuer voire résorber les situations de défaillance en cas de crise sur la ressource du Rupt de Mad. Toutefois, le secours du canal de Jouy reste insuffisant pour compenser entièrement la crise « Rupture de canalisation entre le Rupt de Mad et Moulins ». De plus, sa disponibilité en secours pour l'AEP est incertaine étant donné les problèmes de qualité de l'eau du canal (chlorures, nitrates, et vulnérabilité aux pollutions ponctuelles accidentelles). Deuxièmement, des scénarios de maîtrise des besoins en eau ont été simulés. Les impacts des scénarios de crise sur la ressource du Rupt de Mad sont atténués par des scénarios volontaristes en termes de maîtrise de la demande et des rendements des réseaux. Cela reste cependant insuffisant pour compenser entièrement la crise. Ainsi, même avec des scénarios ambitieux de maîtrise des rendements (rendements de 85%) et de maîtrise de la demande (diminution du ratio de consommation par habitant de 22% par rapport à 2015), il reste un besoin de sécurisation résiduel en secours pour la zone dépendante de la ressource du Rupt de Mad en cas de crise sur cette ressource.

Ainsi, la présente étude identifie des besoins de sécurisation de l'AEP sur le périmètre : d'une part de façon pérenne pour les UGE dépendantes des alluvions de la Moselle dans des zones de concentrations en chlorures élevées, et d'autre part en secours pour les UGE vulnérables à une crise sur la ressource du Rupt de Mad. À noter que des scénarios ambitieux de maîtrise des rendements des réseaux et/ou de maîtrise de la demande permettent de réduire les besoins de sécurisation. Il apparaît également important de s'assurer de la préservation des ressources alternatives non chlorurées existantes, en particulier la ressource du Rupt de Mad dont dépend une grande partie du périmètre.

Pour diminuer l'incertitude quant aux niveaux de concentrations en chlorures dans les alluvions de la Moselle à l'avenir, il serait nécessaire de compléter le suivi actuel, en particulier par des suivis à plus hautes fréquences dans la zone identifiée comme vulnérable autour d'Atton et de la boucle de Loisy.

Sommaire

1. Introduction	15
2. Territoire d'étude et méthodologie.....	17
2.1. PERIMETRE D'ETUDE.....	17
2.2. VUE D'ENSEMBLE DE LA DEMARCHE	22
3. Développement du modèle du schéma AEP	25
3.1. PRINCIPES GENERAUX.....	25
3.2. CARACTERISATION DES SCHEMAS D'APPROVISIONNEMENT EN EAU POTABLE DES UGE DU PERIMETRE	27
3.2.1. Sources des données mobilisées.....	29
3.2.2. Données principales relatives à la demande en eau potable et aux UGE	30
3.2.3. Données principales relatives à la production d'eau potable	30
3.2.4. Données principales relatives aux transferts d'eau	31
3.3. CARACTERISATION DES COUTS D'APPROVISIONNEMENT EN EAU.....	32
3.3.1. Coûts de prélèvement.....	32
3.3.2. Coûts de traitement.....	33
3.3.3. Coûts de transport	34
3.3.4. Coût des échanges avec l'extérieur du périmètre	34
3.3.5. Coût de la défaillance	35
3.4. PAS DE TEMPS DU MODELE ET DISTRIBUTION JOURNALIERE DES DONNEES ANNUELLES	35
3.4.1. Hypothèses de distribution journalière des données annuelles	35
3.4.2. Validation du modèle du schéma AEP	36
4. Analyse hydrologique et hydrogéologique	37
4.1. CONTEXTE HYDROGEOLOGIQUE ET DONNEES DISPONIBLES	37
4.1.1. Éléments de géologie et hydrogéologie des alluvions quaternaires du bassin de la Moselle (AERM, 2002).....	37
4.1.2. Données récoltées	40
4.2. CONTEXTE HYDROLOGIQUE, HYDROGEOLOGIQUE ET DE CONTAMINATION DES EAUX.....	41
4.2.1. Schéma conceptuel global des relations Eaux Superficielles/Eaux Souterraines (ESU/ESO)	41
4.2.2. Contamination en CI des ESU sur le linéaire Meurthe-Moselle	42
4.2.3. Contamination en CI des ESO	44

4.3. APPROCHE DEVELOPPEE POUR CARACTERISER LES SCENARIOS DE CONCENTRATIONS EN CHLORURES	47
4.3.1. Sélection des années type (moyenne, sèche, très sèche).....	47
4.3.2. Sectorisation des ouvrages en nappe	50
4.3.3. Création des chroniques [Cl] ESO	52
4.3.4. Estimation des scénarios futurs	55
4.4. SYNTHESE DES RESULTATS	58
4.4.1. Reconstitution des chroniques de [Cl] actuelles et futures	58
4.4.2. Incertitudes sur les chroniques reconstituées.....	59
5. Caractérisation des scénarios à horizon 2050	61
5.1. SCENARIOS D'EVOLUTION DES BESOINS EN EAU	61
5.1.1. Scénarios d'évolution de la demande	61
5.1.2. Scénarios d'évolution des rendements des réseaux	69
5.2. SCENARIOS DE CONCENTRATIONS EN CHLORURES DANS LES ALLUVIONS SOUS CHANGEMENT CLIMATIQUE	72
5.3. SCENARIOS DE CRISE	74
5.3.1. Scénario de rupture de canalisation entre la prise d'eau d'Arnaville et la station de Moulins	74
5.3.2. Scénario de pollution aux nitrates sur le Rupt de Mad	76
5.3.3. Disponibilité de l'approvisionnement de secours par le Canal de Jouy.....	77
6. Résultats des simulations à horizon 2050	79
6.1. ÉVALUATION DE LA VULNERABILITE DU SCHEMA AEP A HORIZON 2050	79
6.1.1. Scénario « standard »	79
6.1.2. Impact du scénario climatique et de l'incertitude	85
6.1.3. Impact du scénario d'évolution des besoins en eau	86
6.2. VULNERABILITE DU SCHEMA AEP FACE AUX SCENARIOS DE CRISE.....	91
6.2.1. Rupture de canalisation entre la prise d'eau d'Arnaville et la station de Moulins ..	91
6.2.2. Pollution aux nitrates sur le Rupt de Mad.....	96
6.2.3. Impact du scénario climatique et de l'incertitude	100
6.3. IMPACT DES SCENARIOS D'EVOLUTION DES BESOINS EN EAU	106
6.4. SYNTHESE	114
7. Conclusions.....	121
8. Bibliographie	127

Liste des figures

Figure 1.	Volumes prélevés pour l'alimentation en eau potable en 2015 sur le périmètre du schéma	17
Figure 2 :	Unités de Gestion de l'Eau (UGE) incluses dans le périmètre d'étude	19
Figure 3.	Cartographie des volumes prélevés pour l'AEP sur le périmètre d'étude	20
Figure 4.	Schéma des volumes mis en œuvre dans le cycle de l'eau potable	21
Figure 5 :	Schéma conceptuel du modèle du schéma d'approvisionnement en eau potable	25
Figure 6 :	Couplage du modèle du schéma AEP à l'analyse hydrogéologique	27
Figure 7 :	Exemple de la schématisation du fonctionnement de l'AEP lors de l'année 2015 pour l'UGE de Metz. En bleu figurent les stations de traitement.	28
Figure 8.	Schéma simplifié de la matrice de transfert d'eau pour l'alimentation des UGE	31
Figure 9.	Schéma simplifié de la matrice de transfert d'eau pour l'alimentation des TTP	31
Figure 10 :	Localisation du secteur d'étude (encadré rouge) : partie aval des alluvions quaternaires de la Moselle, à l'aval de la confluence Meurthe – Moselle (source : AERM, 2002)	38
Figure 11 :	Carte localisant les soudières sur la Meurthe, et les différents sites de récolte des données hydrologiques et de la qualité des eaux sur fond MNT (IGN©). En trait bleu figurent les principaux cours d'eau (BD Carthage, IGN©)	39
Figure 12 :	Schéma conceptuel d'un ouvrage dans une nappe alluviale (modifié d'après Lallemand-Barrès A., Roux J.-C., 1999)	41
Figure 13 :	Evolution temporelle des concentrations en chlorures (haut) et des flux de chlorure (bas) le long du linéaire Meurthe-Moselle (code couleur vert clair à rouge d'amont en aval)	43
Figure 14 :	Nombre de données de [Cl] ESO disponibles de 1998 à 2017 pour l'ensemble des 23 ouvrages conservés, classés d'amont en aval (cases blanches : aucune donnée ; couleurs rouge à jaune : peu de données ; couleurs vert clair à vert foncé : nombre de données plus conséquent)	44
Figure 15 :	Description de l'approche utilisée pour réaliser la typologie des eaux souterraines	45
Figure 16:	Carte représentant la typologie des ouvrages de mesure des [Cl] ESO et box-plots des données de concentrations en Cl brutes (mg/l) pour les 23 ouvrages de mesure. Les encadrés gris correspondent aux [Cl] ESO moyennes de la Moselle. Les traits pointillés gris indiquent les zones de confluence. Le trait pointillé rouge sépare le secteur Amont du secteur Aval défini en partie 0	46
Figure 17 :	Histogrammes des écarts par rapport aux valeurs moyennes de précipitations (pluviométrie moyenne d'Amnéville et de Lunéville) débits de la Moselle à Uckange et [Cl] à Hauconcourt. En jaune est encadrée l'année moyenne type, en rouge l'année sèche de début de période déficitaire, en rouge sombre rouge l'année sèche de fin de période déficitaire	49
Figure 18 :	Localisation des points de mesure et ouvrages de collecte du secteur 7	50
Figure 19 :	Localisation des 12 secteurs définis pour l'association de chroniques de concentrations en Cl en nappe aux ouvrages de collectes les plus proches, sur fond MNT (IGN). En trait bleu figurent les principaux cours d'eau (BD Carthage, IGN)	51
Figure 20 :	Description de l'approche utilisée pour créer des chroniques de concentration dans les ESO à partir des composantes journalières, annuelles et pluri-annuelles des chroniques ESO et ESU	52
Figure 21 :	Chroniques de [Cl] en nappe obtenues pour l'ouvrage 01938X0117 à l'aide du calcul 1 sans lissage (courbe grise) et avec lissage (courbe bleue) en comparaison avec les données brutes interpolées (pointillés rouge), sur la période 2000 – 2009 (inclut les 3 années type)	53

Figure 22 :	Chroniques de [Cl] en nappe obtenues pour l'ouvrage 01145X0021 à l'aide du calcul 2 sans lissage (courbe grise en haut) et avec lissage (courbe bleue en bas) en comparaison avec les données brutes interpolées (pointillés rouge), sur la période 2000 – 2009 (inclut les 3 années type)	54
Figure 23 :	Passage des chroniques de [Cl] des scénarios actuels aux scénarios futurs : exemple de l'ouvrage 01938X00117 de Loisy (secteur 3) pour l'année moyenne type (2008). En vert, signaux IA seuls. En orange, chroniques de [Cl] reconstituées à partir de l'ensemble des signaux.....	57
Figure 24 :	Carte représentant le nombre de jours de dépassement des 250mg(Cl)/l sur chaque secteur, pour les 3 années type retenues (*2011 pour le 0207, secteur 5). 2003 : année « sèche », 2005 : année « sèche + », 2008 : année « moyenne »	58
Figure 25 :	Résultats des analyses statistiques menées sur les trois années types – synthèse des données des Figure 86, Figure 87, et Figure 88 en Annexe.	59
Figure 26 :	Exemple d'incertitude appliquée aux chroniques reconstituées pour établir les scénarios....	60
Figure 27.	Demande en eau potable en 2015 et 2050, par scénario (m ³ /an).....	69
Figure 28 :	Rendements des réseaux dans les différentes UGE en 2015.....	71
Figure 29.	Schéma simplifié de l'alimentation en eau potable de la Ville de Metz	75
Figure 30 :	Situations de défaillance de l'AEP par UGE à horizon 2050 dans le scénario standard.....	83
Figure 31 :	Taux de sollicitation des ouvrages de prélèvement en été à horizon 2050 (scénario « standard »), par rapport aux capacités de prélèvement	84
Figure 32 :	Situations de défaillance de l'AEP à horizon 2050, impact de l'incertitude	88
Figure 33 :	Situations de défaillance de l'AEP à horizon 2050, impact de l'année hydrologique considérée.....	89
Figure 34 :	Situations de défaillance de l'AEP à horizon 2050 dans le scénario le plus défavorable (hors crise)	90
Figure 35 :	Situations de défaillance de l'AEP à horizon 2050 dans le scénario de crise « Rupture de canalisation entre le Rupt de Mad et la station de Moulins », dans le cas où le canal de Jouy n'est pas disponible en secours. NB : la vulnérabilité des UGE du sud n'est pas liée à la crise.....	94
Figure 36 :	Situations de défaillance de l'AEP à horizon 2050 dans le scénario de crise « Rupture de canalisation entre le Rupt de Mad et la station de Moulins », dans le cas où le canal de Jouy est disponible en secours pendant toute la durée de la crise. NB : la vulnérabilité des UGE du sud n'est pas liée à la crise.	95
Figure 37 :	Situations de défaillance de l'AEP à horizon 2050 dans le scénario de crise « Pollution aux nitrates sur le Rupt de Mad », dans le cas où le canal de Jouy n'est pas disponible en secours. NB : la vulnérabilité des UGE du sud n'est pas liée à la crise.	98
Figure 38 :	Situations de défaillance de l'AEP à horizon 2050 dans le scénario de crise « Pollution aux nitrates sur le Rupt de Mad », dans le cas où le canal de Jouy est disponible en secours pendant toute la durée de la crise. NB : la vulnérabilité des UGE du sud n'est pas liée à la crise.....	99
Figure 39 :	Situations de défaillance de l'AEP à horizon 2050 dans le scénario de crise « Rupture de canalisation entre le Rupt de Mad et la station de Moulins », impact de l'année hydrologique. (NB : la vulnérabilité des UGE du sud n'est pas liée à la crise.)	102
Figure 40 :	Situations de défaillance de l'AEP à horizon 2050 dans le scénario de crise « Rupture de canalisation entre le Rupt de Mad et la station de Moulins », impact de l'incertitude. NB : la vulnérabilité des UGE du sud n'est pas liée à la crise.....	103

Figure 41 : Situations de défaillance de l'AEP à horizon 2050 dans le scénario de crise « Pollution aux nitrates sur le Rupt de Mad », impact de l'année hydrologique. (NB : la vulnérabilité des UGE du sud n'est pas liée à la crise.).....	104
Figure 42 : Situations de défaillance de l'AEP à horizon 2050 dans le scénario de crise « Pollution aux nitrates sur le Rupt de Mad », impact de l'incertitude. (NB : la vulnérabilité des UGE du sud n'est pas liée à la crise.)	105
Figure 43 : Situations de défaillance de l'AEP à horizon 2050 dans le scénario de crise « Rupture de canalisation », impact des scénarios d'évolution des besoins en eau. Attention : l'échelle de couleur habituelle a été subdivisée afin de mieux faire apparaître les impacts des scénarios. L'ancienne catégorie « rouge » (31 à 90 jours) a été subdivisée entre une catégorie orange foncé (31 à 60 jours), et une catégorie rouge (61 à 90 jours).	110
Figure 44 : Situations de défaillance de l'AEP à horizon 2050 dans le scénario de crise « Rupture de canalisation », dans le scénario de maîtrise de la demande et du rendement. Attention : l'échelle de couleur habituelle a été subdivisée afin de mieux faire apparaître les impacts des scénarios. L'ancienne catégorie « rouge » (31 à 90 jours) a été subdivisée entre une catégorie orange foncé (31 à 60 jours), et une catégorie rouge (61 à 90 jours).	111
Figure 45 : Situations de défaillance de l'AEP à horizon 2050 dans le scénario de crise « Pollution aux nitrates », impact des scénarios d'évolution des besoins en eau. NB : la vulnérabilité des UGE du sud n'est pas liée à la crise.	112
Figure 46 : Situations de défaillance de l'AEP à horizon 2050 dans le scénario de crise « Pollution aux nitrates », dans le scénario de maîtrise de la demande et du rendement. NB : la vulnérabilité des UGE du sud n'est pas liée à la crise.	113
Figure 47 : niveaux de contamination en chlorures des affluents de la Moselle.....	147
Figure 48 : Evolution des flux de Chlorures dans la Seille et la Moselle en amont et en aval de sa confluence à partir de données mensuelles	147
Figure 49 : Carte illustrant le nombre de données [CI] ESO par ouvrage de mesure en nappe	150
Figure 50 : Corrélogrammes croisés des [CI] mesurés en Moselle à Millery, Vandières et Hauconcourt, avec les [CI] mesurées en nappe à Loisy et Atton.....	151
Figure 51 : Tableau récapitulatif des coefficients de corrélation r^2 CI Moselle – CI ouvrage, obtenus en effectuant 3 tests sur différentes périodes : 1998-2017, 2004-2010 (pour les ouvrages 10 à 12 et 14 à 17, r^2 en gras) et 2010-2016 (pour les ouvrages 19 à 21, r^2 en gras). En rouge figurent les $r^2 < 0,3$ (mauvaise corrélation), en vert les $r^2 > 0,6$ (bonne corrélation)	152
Figure 52 : Graphique représentant le coefficient de corrélation r^2 [CI] Moselle – [CI] ouvrage souterrain (test 1998-2017) en fonction de la distance Moselle – ouvrage. En étiquette des points le groupe auquel appartiennent les ouvrages	153
Figure 53 : Diagrammes [CI] ESO-prélèvement annuel (à gauche) et [CI] ESO-prélèvement mensuel (à droite) à Arry-la-Lobe (Nguyen-Thé, 2015).....	154
Figure 54 : Diagrammes [CI] ESO-niveau piézométrique (à gauche) et [CI] ESO-rabattement journalier (à droite) à Atton (Nguyen-Thé, 2015)	154
Figure 55 : Evolution des concentrations en Cl de la Moselle au droit des stations de mesure situées en aval de la confluence Meurthe-Moselle	155
Figure 56 : Analyse statistiques des données pluviométriques (moyennes mensuelles) mesurées à Amnéville. En bleu figurent les années plus humides, en orange les années plus sèches .	158
Figure 57 : Analyse statistiques des données pluviométriques (moyennes mensuelles) mesurées à Lunéville. En bleu figurent les années plus humides, en orange les années plus sèches...	158
Figure 58 : Box plots obtenus à partir des moyennes mensuelles de la pluviométrie mesurée à Amnéville (ordonnée : pluies en mm). Les années les plus sèches sont entourées en rouge, les plus humides en bleu. Ne pas considérer l'année 1999 : données de septembre à décembre seulement.....	159

Figure 59 :	Box plots obtenus à partir des moyennes mensuelles de la pluviométrie mesurée à Lunéville (ordonnée : pluies en mm). Les années les plus sèches sont entourées en rouge, les plus humides en bleu. Ne pas considérer l'année 1999 : données de septembre à décembre seulement.....	159
Figure 60 :	Débit Médian, Module « Quinquennale Sèche » et Module « Quinquennale Humide » donnés par la Banque HYDRO pour la Moselle au niveau de la station d'Uckange.....	160
Figure 61 :	Histogramme des débits moyens par an de la Moselle à Uckange, comparés aux débits Médian, Module « Quinquennale Sèche » et Module « Quinquennale Humide ». Ne pas considérer l'année 1999 : données de septembre à décembre seulement.....	160
Figure 62 :	Box plots obtenus à partir des moyennes mensuelles des débits de la Moselle mesurés à Uckange (ordonnée : débits en m ³ /s). Les années humides sont entourées en bleu, jaune pour les années moyennes, rouge pour les années sèches de début de période de déficit, rouge sombre pour les années sèches de fin de période de déficit les plus significatives. Ne pas considérer l'année 1999 : données de septembre à décembre seulement.....	161
Figure 63 :	Box plots obtenus à partir des [Cl] journalières mesurées dans la Moselle à Hauconcourt en 2008 (ordonnée : concentrations en mg(Cl)/l).....	162
Figure 64 :	Histogrammes des précipitations journalières (mm) à Amnéville et Lunéville en 2008.....	162
Figure 65 :	Graphique représentant les débits journaliers de la Moselle mesurés à Uckange en 2008	163
Figure 66 :	Box plots obtenus à partir des [Cl] journalières mesurées dans la Moselle à Hauconcourt en 2003 (ordonnée : concentrations en mg(Cl)/l).....	164
Figure 67 :	Histogrammes des précipitations journalières (mm) à Amnéville et Lunéville en 2003.....	164
Figure 68 :	Graphique représentant les débits journaliers de la Moselle mesurés à Uckange en 2003	165
Figure 69 :	Box plots obtenus à partir des [Cl] journalières mesurées dans la Moselle à Hauconcourt en 2005 (ordonnée : concentrations en mg(Cl)/l).....	166
Figure 70 :	Histogrammes des précipitations journalières (mm) à Amnéville et Lunéville en 2005.....	166
Figure 71 :	Graphique représentant les débits journaliers de la Moselle mesurés à Uckange en 2005	167
Figure 72 :	Localisation des points de mesure et ouvrages de collecte du secteur 4.....	169
Figure 73 :	Localisation des points de mesure et ouvrages de collecte du secteur 5.....	170
Figure 74 :	Données statistiques obtenues à partir des données de [Cl] en nappes brutes au sein des 16 sites de mesures retenus. En rouge, [Cl] > 250 mg/l ; en jaune, [Cl] > 150 mg/l.....	171
Figure 75 :	Analyse de la proportion de données (brutes et reconstituées) dépassant les 250mg(Cl)/l au droit du secteur 3 (Loisy) pour les scénarios actuels.....	172
Figure 76 :	Tableau bilan (1 ^{ère} partie, secteurs 1 à 7) : sectorisation des points de mesure et des ouvrages de collecte associés (en vert et gras : ouvrage de collecte identique au point de mesure), groupements de corrélation Cl Moselle-Cl nappe, calculs utilisés pour réaliser les chroniques de concentration en Cl actuelles et futures.....	174
Figure 77 :	Tableau bilan (2 ^{ème} partie, secteurs 8 à 12) : sectorisation des points de mesure et des ouvrages de collecte associés (en vert et gras : ouvrage de collecte identique au point de mesure), groupements de corrélation Cl Moselle-Cl nappe, calculs utilisés pour réaliser les chroniques de concentration en Cl actuelles et futures.....	175
Figure 78 :	Carte indicatrice du calcul utilisé pour la reconstitution des chroniques de [Cl] et des scénarios actuelles (A) et futures (F – T1 à T5) en terme de [Cl] ESO sur chaque secteur	176
Figure 79 :	Analyse de la proportion de données (brutes et reconstituées) dépassant les 250mg(Cl)/l au droit du secteur 4 (Atton uniquement) pour les scénarios actuels.....	177
Figure 80 :	Graphique représentant les données brutes de [Cl] mesurées en ESO au droit de l'ouvrage 01638X0207 et en ESU à la station de Vandières. L'année 2005 est entourée en bleu, l'année 2011 en vert. Le seuil de 250mg(Cl)/l est représenté en pointillés rouge.....	178

Figure 81 :	Analyse de la proportion de données (brutes et reconstituées) dépassant les 250mg(Cl)/l au droit du secteur 7 (Metz-Sud uniquement) pour les scénarios actuels.....	178
Figure 82 :	Graphique représentant les données brutes de [Cl] mesurées en ESO au droit des ouvrages 01641X0109 (Maison Rouge) et 01641X0080 (Metz-Sud) et en ESU à la station d'Ars. Le seuil de 250mg(Cl)/l est représenté en pointillés rouge.	179
Figure 83 :	Localisation du champ captant de Maison Rouge, par rapport à la Moselle, aux étangs et à la sablière (source : InfoTerre).....	180
Figure 84 :	Ratios données brutes – chroniques reconstituées du nombre de jours de dépassement des 250 et 200 mg(Cl)/l et des critères statistiques, pour l'ensemble des 17 sites retenus (valeurs en rouge : écart > 10% ; en jaune : écart > 5% ; en bleu : écart nul)	182
Figure 85 :	Résultats des analyses statistiques menées indépendamment sur les chroniques reconstituées 10 tirages (tableau a)), et de l'analyse menée sur l'ensemble des résultats des 10 tirages (tableau b)). Les valeurs sont en mg(Cl)/l, les écarts sont en %.	183
Figure 86 :	Résultats des analyses statistiques menées indépendamment sur les chroniques reconstituées 10 tirages (rouge : valeur élevée, bleu : valeur faible ; jaune : ET élevé, vert : ET faible), et de l'analyse menée sur l'ensemble des résultats des 10 tirages, pour l'année type moyenne (2008). Les valeurs sont en mg(Cl)/l, les écarts en %.	184
Figure 87 :	Résultats des analyses statistiques menées indépendamment sur les chroniques reconstituées 10 tirages (rouge : valeur élevée, bleu : valeur faible ; jaune : ET élevé, vert : ET faible), et de l'analyse menée sur l'ensemble des résultats des 10 tirages, pour l'année type sèche, début de période déficitaire (2003). Les valeurs sont en mg(Cl)/l, les écarts en %.	184
Figure 88 :	Résultats des analyses statistiques menées indépendamment sur les chroniques reconstituées 10 tirages (rouge : valeur élevée, bleu : valeur faible ; jaune : ET élevé, vert : ET faible), et de l'analyse menée sur l'ensemble des résultats des 10 tirages, pour l'année type sèche, fin de période déficitaire (2005). Les valeurs sont en mg(Cl)/l, les écarts en %.	184
Figure 89 :	Nombre de jours de dépassement des 250mg(Cl)/l pour l'ensemble des ouvrages de mesure en ESO, pour les scénarios actuels et futurs sur les 3 années type (sans incertitudes, avec incertitudes de -15 et +15%). Bleu : pas de dépassement ; rouge : nombre important de dépassements.....	185
Figure 90.	Principales caractéristiques des scénarios de contextes nationaux.....	189
Figure 91.	Croissance démographique entre 2015 et 2050 par département – Projections du modèle Omphale de l'INSEE.	190
Figure 92.	Évolution de la teneur en nitrates dans l'eau mélangée à la station de Yutz. Source : RAD 2015 de la ville de Yutz.....	200
Figure 93.	Évolution de la teneur en nitrates dans les ressources en eau de Yutz. Source : RAD 2015 de la ville de Yutz.....	201
Figure 94.	Localisation géographique des quatre puits de la boucle de Loisy et de l'aire de service de Loisy située sur l'autoroute A31.....	202
Figure 95 :	Situations de défaillance de l'AEP à horizon 2050 dans le scénario le plus favorable en termes de concentrations en chlorures.....	203
Figure 96 :	Situations de défaillance de l'AEP à horizon 2050 dans le scénario le plus favorable en termes de concentrations en chlorures.....	204

Liste des tableaux

Tableau 1 :	Volumes prélevés par ressource et par UGE (m ³ /an, 2015).....	18
Tableau 2 :	Nombre d'UGE par mode de gestion de l'eau en 2015	22
Tableau 3 :	Coûts de traitement par type de traitement (nomenclature de l'ARS)	33
Tableau 4 :	Evolution démographique associée au scénario Libéralisation subie et déclin	63
Tableau 5 :	Evolution des demandes en eau associée au scénario Libéralisation subie et déclin	63
Tableau 6 :	Evolution démographique associée au scénario Dynamiques régionales et développement local	65
Tableau 7 :	Evolution des demandes en eau associée au scénario Dynamiques régionales et développement local	65
Tableau 8 :	Evolution démographique associée au scénario Environnement et qualité de vie	67
Tableau 9 :	Evolution des demandes en eau associée au scénario Environnement et qualité de vie	67
Tableau 10 :	Synthèse des scénarios de prospective sur la demande en eau.....	68
Tableau 11 :	Rendements des réseaux dans les différentes UGE en 2015 et à horizon 2050	72
Tableau 12 :	Pictogrammes représentant les trois scénarios climatiques simulés, ainsi que leurs variantes prenant en compte l'incertitude	73
Tableau 13 :	Pictogrammes représentant les deux scénarios de crise modélisés	77
Tableau 14 :	Pictogrammes représentant les scénarios de disponibilité de la ressource de secours du canal de Jouy	78
Tableau 15 :	Ressources des UGE vulnérables à horizon 2050	81
Tableau 16 :	Dépassements des seuils de concentration en chlorures dans les ressources des UGE vulnérables à horizon 2050	81
Tableau 17 :	Situations de défaillance en cas de rupture de la canalisation entre le Rupt de Mad et la station de Moulins, pour différents scénarios. Le scénario encadré est le scénario « standard ». Sont précisés : « Jours » : nombre de jours où défaillance > 10% de la demande ; « % » : taux moyen de défaillance (en % de la demande) les jours où il y a défaillance ; « m ³ /an » : défaillance totale annuelle (demande totale n'ayant pu être satisfaite). NB : la vulnérabilité des UGE du sud n'est pas liée à la crise.....	118
Tableau 18 :	Situations de défaillance en cas de pollution aux nitrates sur le Rupt de Mad, pour différents scénarios. Le scénario encadré est le scénario « standard ». Sont précisés : « Jours » : nombre de jours où défaillance > 10% de la demande ; « % » : taux moyen de défaillance (en % de la demande) les jours où il y a défaillance ; « m ³ /an » : défaillance totale annuelle (demande totale n'ayant pu être satisfaite). NB : la vulnérabilité des UGE du sud n'est pas liée à la crise.	119
Tableau 19 :	Taux de sollicitation des capacités des infrastructures de production d'eau potable en été à horizon 2050 (scénario « standard »)	214

Liste des encadrés

Encadré 1 : Définition du terme UGE tel qu'utilisé dans la présente étude	28
Encadré 2. La ressource du Rupt-de-Mad	76
Encadré 3. Le canal de Jouy	77
Encadré 4 : Le cas de Montigny-lès-Metz	93
Encadré 5. Résultats des simulations des scénarios à horizon 2050 : chiffres clefs.....	115
Encadré 6. La boucle de Loisy	202

Liste des annexes

Annexe 1 : Liste des membres du Groupe de Travail (en date de 2017)	129
Annexe 2 : Schématisation de l'organisation de l'AEP des UGE du périmètre (pour l'année de référence 2015)	133
Annexe 3 : Estimation du diamètre et du linéaire des canalisations	145
Annexe 4 : Contribution des affluents à la contamination de la Moselle en aval de sa confluence avec la Meurthe	147
Annexe 5 : Analyse des relations nappe-rivière	149
Annexe 6 : Analyse hydrologique et tendances sur les années types.....	157
Annexe 7 ! Sectorisation – cas particuliers	169
Annexe 8 : Etude des nombres de jours de dépassement des 250mg(Cl)/l actuels et futurs	171
Annexe 9 : Réflexions sur les incertitudes des chroniques recalculées	181
Annexe 10 : Scénarios de prospective caractérisés par les membres du Groupe de Travail	187
Annexe 11 : Scénarios de crise caractérisés par les membres du Groupe de Travail	191
Annexe 12 : Évaluation de la vulnérabilité du schéma AEP à horizon 2050 – Scénarios complémentaires.....	203
Annexe 13 : Sollicitation des infrastructures de production d'eau potable en été à horizon 2050 (scénario « standard »)	205

1. Introduction

Dans les vallées de la Meurthe et de la Moselle, entre la métropole du Grand Nancy et la frontière luxembourgeoise, la gestion de l'eau s'est historiquement organisée autour des contraintes liées aux concentrations en chlorures dans les ressources en eau. Ces chlorures ont pour une part une origine géochimique résultant de l'histoire et la géologie de la Lorraine, et d'autre part¹ une origine anthropique issue des soudières implantées à Dombasle-sur-Meurthe et Laneuville-Devant-Nancy dont l'activité génère des rejets de chlorures dans la Meurthe, quelques kilomètres en amont de sa confluence avec la Moselle. Ces rejets sont liés à la fabrication de carbonates de sodium utilisés principalement dans l'industrie du verre et les procédés de dépollution.

Aucun prélèvement pour l'eau potable n'est effectué en eaux superficielles dans la Meurthe et la Moselle en aval de ces rejets, car les concentrations en chlorures y sont supérieures au seuil de potabilisation des eaux brutes destinées à la consommation humaine fixé à 200 mg/l (Directive européenne 75/440/CEE et décret 89-3). Des prélèvements pour l'eau potable sont toutefois effectués dans la nappe alluviale de la Moselle, bien que les concentrations en chlorures y dépassent en certains points le seuil des 200 mg/L (Nguyen-Thé, 2015). Une autorisation exceptionnelle est alors délivrée par l'Agence Régionale de Santé (ARS) aux services d'eau qui utilisent une eau brute dont les concentrations en chlorures dépassent les 200 mg/L, sous réserve que ces services d'eau (i) emploient un traitement approprié, y compris le mélange, permettant de distribuer une eau conforme, (ii) décrivent et alimentent le plan de gestion établi à l'échelle des masses d'eau visant à retrouver un état de la Moselle se rapprochant de l'état naturel pour les chlorures, et (iii) informent les personnes en régime hyposodé.

Aucune technologie permettant d'extraire ou d'abaisser les teneurs en chlorures dans la Moselle n'est actuellement opérationnelle. Une étude socio-économique commanditée par le Comité de bassin Rhin-Meuse a récemment mis en évidence le coût disproportionné de la construction d'un caloduc qui permettrait d'exporter les rejets salés vers le Rhin (Rozan et al, 2016). Dans le même temps, le changement climatique pourrait renforcer les conditions d'étiage, diminuer la dilution et augmenter en conséquence les concentrations en chlorures dans la Moselle et sa nappe alluviale (Thirel et al, 2017 ; CIPMS, 2013).

L'ensemble de ces éléments incite les collectivités à mettre en œuvre des solutions d'approvisionnement alternatives pour pérenniser leur alimentation en eau potable (retenues d'eau, interconnexions avec d'autres ressources, etc.). Sur le long-terme, le coût de ces stratégies de sécurisation peut cependant s'avérer considérable pour les collectivités.

Dans ce contexte, le Comité de bassin Rhin-Meuse a sollicité le BRGM en vue de diagnostiquer l'éventuelle vulnérabilité de l'alimentation en eau potable à horizon 2050, compte tenu de l'organisation actuelle du réseau d'eau potable et des possibilités de mutualisation des ressources entre collectivités.

¹ La part relative exacte de chaque contribution ne peut pas être déterminée en l'état actuel des connaissances. En 2009, les rejets des soudières constituaient la part majoritaire (SOGREAH, 2009).

La mission confiée au BRGM est d'élaborer un schéma exploratoire de l'alimentation en eau potable sur l'axe Mosellan face à la problématique chlorures à horizon 2050, avec les objectifs suivants :

- modéliser le fonctionnement actuel de l'alimentation en eau potable (AEP) sur l'axe mosellan dans son ensemble (demandes en eau, ressources, prélèvements, stations de traitement, échanges, etc.), en considérant les interconnexions existantes ;
- évaluer la vulnérabilité de ce schéma AEP face à la problématique chlorures à horizon 2050 en considérant les trois aspects suivants :
 - o changement climatique ;
 - o évolution de la demande en eau potable ;
 - o risques d'interruption accidentelle de l'approvisionnement (rupture de canalisation, pollution de surface, acte de malveillance).
- formuler des préconisations issues de ce diagnostic.

Ce rapport présente les principaux résultats de ce travail exploratoire. Après une présentation du territoire d'étude et de la méthodologie (section 2), nous présenterons d'une part le développement du modèle du schéma AEP (section 0), d'autre part l'analyse hydrologique réalisée (section 0), puis les différents scénarios considérés à horizon 2050 (section 5) et les résultats de la simulation de ces scénarios avec le modèle (section 1), avant de discuter ces résultats et de conclure (section 7).

2. Territoire d'étude et méthodologie

2.1. Périmètre d'étude

Le territoire d'étude se situe le long de l'axe Mosellan, de la métropole du Grand Nancy au sud, à la frontière avec le Luxembourg au nord. Il se compose de l'ensemble des Unités de Gestion de l'Eau² (UGE) prélevant dans les alluvions de la Moselle (masses d'eau FRCG017 et FRCG016) ou susceptibles de sécuriser leur alimentation en eau potable à partir des alluvions de la Moselle. Cette section présente le territoire d'étude et son approvisionnement en eau lors de l'année 2015, qui constitue l'année de référence de cette étude. Certains changements d'organisation ont pu avoir lieu depuis.

Situé sur les départements de la Meurthe-et-Moselle (54) et de la Moselle (57), ce territoire comprend :

- 219 communes ;
- 38 UGE, dont 21 prélèvent dans les alluvions de la Moselle et 6 n'ont pas de ressources propres (Tableau 1) ;
- 159 ouvrages de prélèvements pour l'alimentation en eau potable, dont 85 ouvrages prélevant dans les alluvions de la Moselle ;
- 56 stations de traitement de l'eau.

Sept ressources sont prélevées pour l'AEP sur ce territoire (Figure 1), pour un volume total prélevé de 62,4 millions de m³ en 2015. La population desservie est estimée à 812 000 habitants.

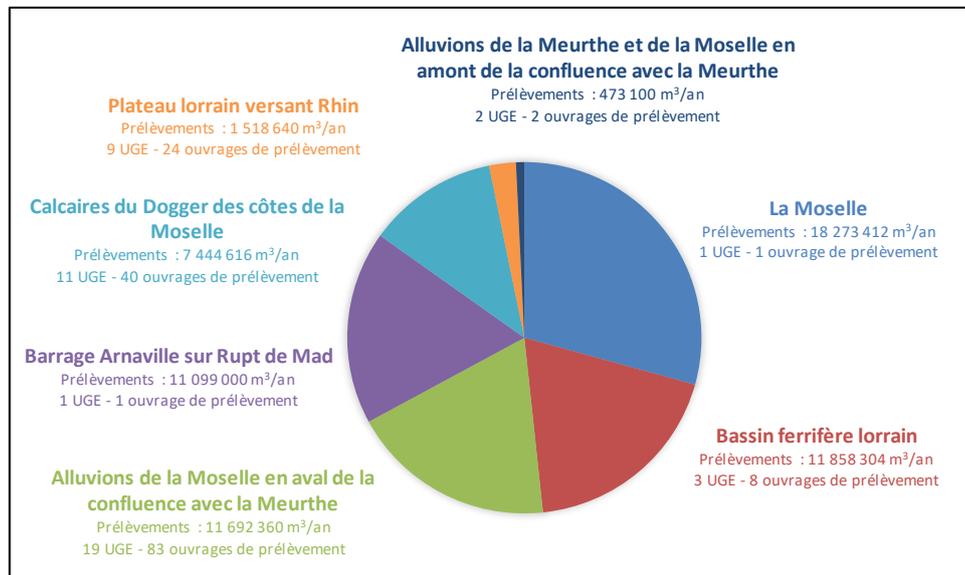


Figure 1 : Volumes prélevés pour l'alimentation en eau potable en 2015 sur le périmètre du schéma

² Ensemble des installations ayant le même maître d'ouvrage et le même exploitant (définition SISE-EAUX).

Schéma exploratoire pour l'alimentation en eau potable des vallées de la Moselle et de la Meurthe

	Alluvions de la Meurthe et de la Moselle (amont)	Alluvions de la Moselle (aval)	Rupt-de-Mad	Calcaires du Dogger des côtes de la Moselle	La Moselle	Plateau lorrain versant Rhin	Bassin ferrifère lorrain	Prélèvements totaux	% Alluvions de la Moselle
Tous	473 100	11 692 360	11 099 000	7 444 616	18 273 412	1 518 640	11 858 304	62 359 432	20%
METZ		5 859 234	11 099 000	2 281 840				19 240 074	30%
MÉTROPOLE DU GRAND NANCY					18 273 412			18 273 412	0%
SIEGVO		491 979		2 022 812			3 342 946	5 857 737	8%
SMPE FENSCH-LORRAINE (PRODUCTION)							5 522 578	5 522 578	0%
THONVILLE		179 700		393 310			2 992 780	3 565 790	5%
MONTIGNY-LÈS-METZ		1 400 437		1 773 388				3 173 825	44%
FAMECK						751 582		751 582	0%
S.I.E.A. DE FLORANGE ET SERÉMANGE-ERZANGE		742 570						742 570	100%
SME DE SEILLE ET MOSELLE		210 270				484 830		695 100	30%
YUTZ		654 173						654 173	100%
POMPEY	469 695							469 695	100%
SEA DU BASSIN DE POMPEY ET FROUARD	3 405			396 623				400 028	1%
SIEA DE LA RÉGION DE GUÉNANGE		348 693						348 693	100%
SYNDICAT DES EAUX DE CATTENOM		333 135						333 135	100%
SYNDICAT DES EAUX DE VERNY		330 242						330 242	100%
SEA DE L'EST THIONVILLOIS		272 791						272 791	100%
PAGNY-SUR-MOSELLE		0		263 001				263 001	0%
SIE de l'OBRION-MOSELLE		232 410						232 410	100%
BLÉNOD-LÈS-PONT-À-MOUSSON		202 227						202 227	100%
CORNY-SUR-MOSELLE		179 821						179 821	100%
CUSTINES				86 219		81 193		167 412	0%
SIE D'ATTON		155 588						155 588	100%
NOVÉANT-SUR-MOSELLE		22 039		99 061				121 100	18%
MARBACHE				79 198				79 198	0%
JOUY-AUX-ARCHES		75 184						75 184	100%
FAULX						68 706		68 706	0%
ARRY						39 589		39 589	0%
VANDIÈRES		1 867				36 868		38 735	5%
MALLELOY				32 043		6 027		38 070	0%
MILLERY						26 180		26 180	0%
LOISY						23 665		23 665	0%
ROZÉRIEULLES				17 121				17 121	0%

Tableau 1 : Volumes prélevés par ressource et par UGE (m³/an, 2015)

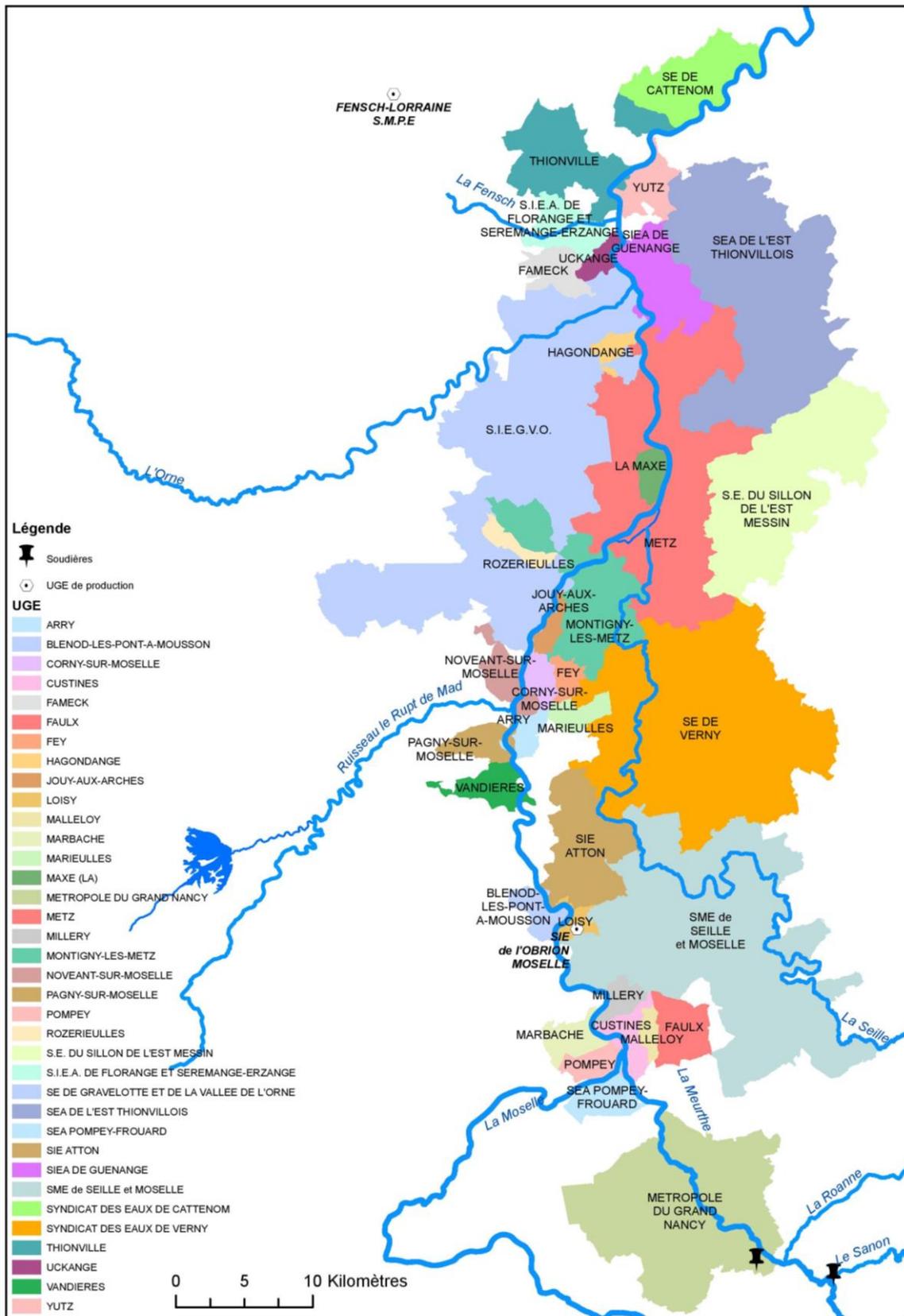


Figure 2 : Unités de Gestion de l'Eau (UGE) incluses dans le périmètre d'étude

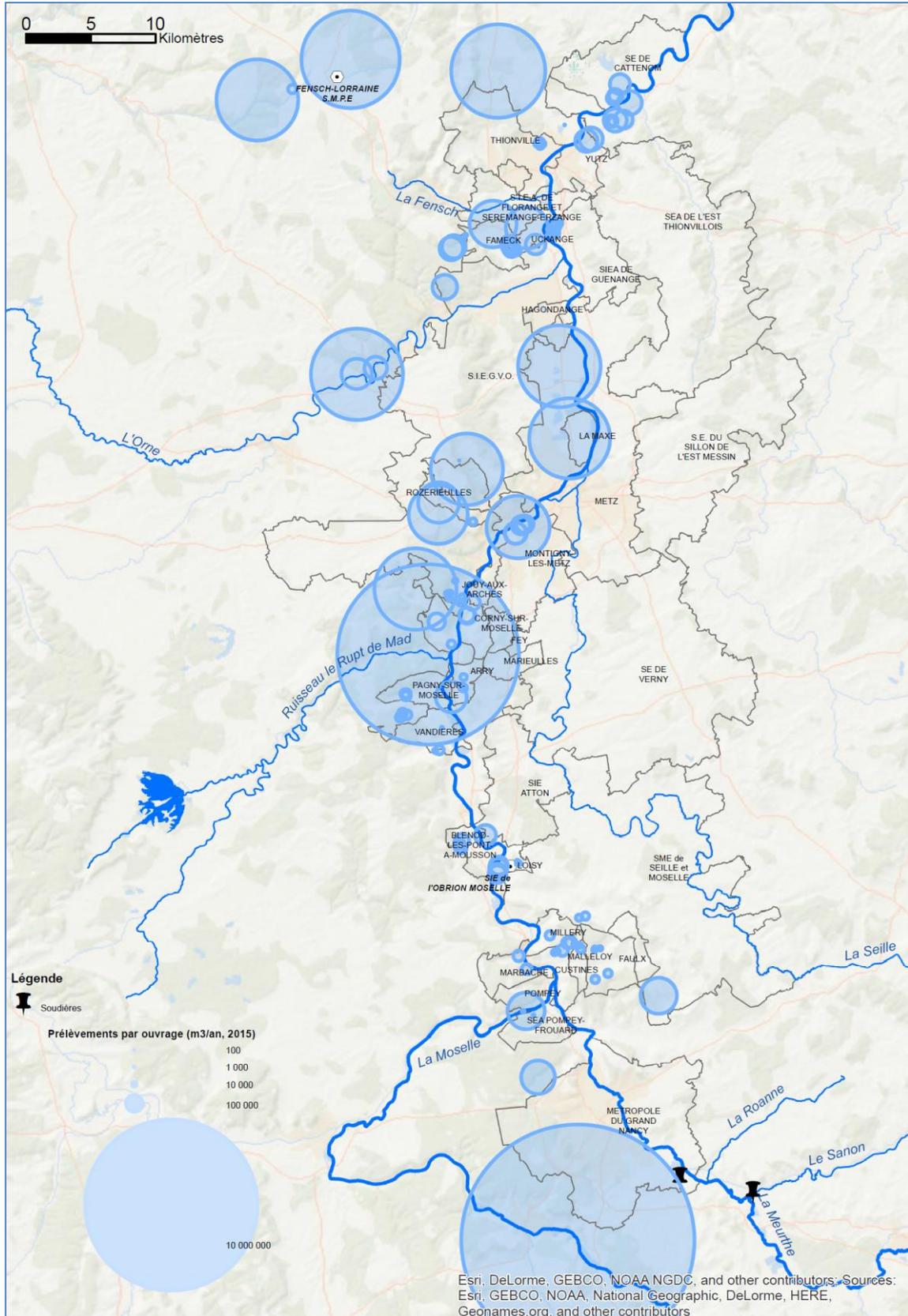


Figure 3 : Cartographie des volumes prélevés pour l'AEP sur le périmètre d'étude

Six UGE représentent à elles seules 90 % des volumes prélevés sur le territoire :

- l'UGE de Metz (aujourd'hui Syndicat des Eaux de la Région Messine, ou SERM – 31 %) ;
- la métropole du Grand Nancy (29 %) ;
- le Syndicat Intercommunal des Eaux de Gravelotte et de la Vallée de l'Orne (SIEGVO – 9 %) ;
- le Syndicat Mixte de Production du Fensch-Lorraine (9 %) ;
- Thionville (6 %) ;
- Montigny-lès-Metz (5 %).

Les prélèvements dans les alluvions de la Moselle (aval et amont) s'élèvent à 12,2 millions de m³ en 2015, ce qui représente 20 % de l'ensemble des prélèvements du périmètre. L'UGE de Metz concourt à près de la moitié de ces prélèvements dans les alluvions. Les alluvions de la Moselle constituent par ailleurs l'unique source d'approvisionnement (hors imports) pour douze UGE (Tableau 1).

En 2015, le territoire est un exportateur net de ressources, avec 5,9 Mm³ exportés vers des UGE situées en dehors du périmètre, contre seulement 0,5 Mm³ importés. À l'intérieur du périmètre, l'essentiel des consommations provient des usagers domestiques et assimilés (96 %) et des usagers industriels (4 %). Le réseau est d'ores et déjà fortement interconnecté puisque les échanges entre UGE s'élèvent à 6,7 Mm³, soit 12 % du volume d'eau mis en distribution sur le périmètre. Enfin, le rendement moyen du réseau d'eau potable s'élève à 80 %.

La Figure 4 présente les principaux indicateurs liés au cycle de production de l'eau potable pour l'ensemble du périmètre d'étude.

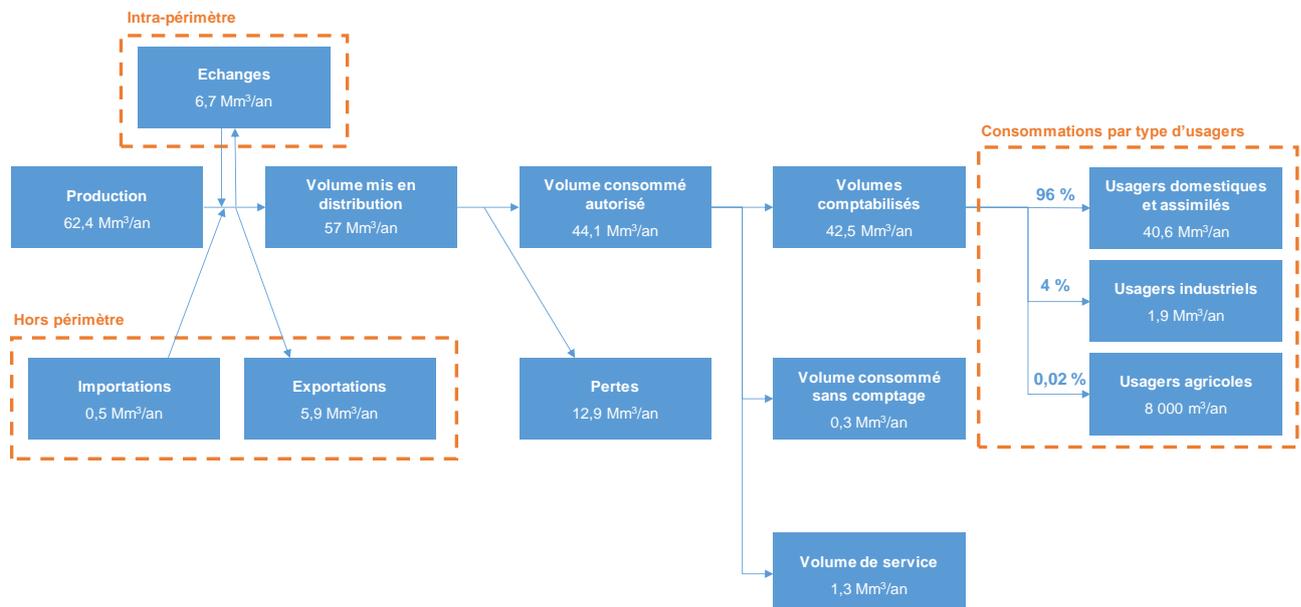


Figure 4 : Schéma des volumes mis en œuvre dans le cycle de l'eau potable

Le Tableau 2 présente les différents modes de gestion des services d'eau sur le territoire (en 2015).

Mode de gestion	Nombre d'UGE
Régie	13
Délégation de service public	25
Véolia	19
Saur	5
Suez	1

Tableau 2 : Nombre d'UGE par mode de gestion de l'eau en 2015

Il convient de noter que cette étude ne porte que sur l'adduction d'eau potable et ne traite pas de la distribution.

2.2. Vue d'ensemble de la démarche

La démarche mise en œuvre pour élaborer ce schéma exploratoire se compose de cinq grandes étapes :

1. **la mise en place d'un groupe de travail** composé de plus d'une trentaine de parties prenantes : membres du Comité de bassin Rhin-Meuse (collectivités, industriels, opérateurs de services d'eau), collectivités concernées par le schéma, opérateurs de services d'eau, conseils départementaux de Meurthe-et-Moselle et de Moselle, région Grand Est, industriels et membres du Comité de Pilotage de l'étude (DREAL, ARS, DDT, Agence de l'eau Rhin-Meuse et experts locaux). Ce groupe de travail s'est réuni à 3 reprises lors d'ateliers de concertation et de mise en débat en vue de (i) valider les principaux choix méthodologiques, (ii) co-construire divers scénarios d'évolution de la demande en eau et scénarios de crise à l'horizon 2050 et (iii) discuter des résultats. La liste complète des membres du groupe de travail est présentée dans l'Annexe 1.
2. **le développement d'un modèle de fonctionnement de l'alimentation en eau potable (AEP)**. Cette étape a consisté à collecter l'ensemble des données nécessaires à la caractérisation du fonctionnement de l'AEP sur les 219 communes du périmètre pour l'année de référence 2015³ et à construire un modèle représentant ce fonctionnement (ressources, ouvrages de prélèvement, stations de traitement, canalisation, modalités de transfert d'eau entre UGE, coûts, etc.).

³ L'année 2015 constitue l'année de référence car il s'agit de l'année la plus récente pour laquelle les données de l'INSEE étaient disponibles lors du lancement de l'étude.

3. **une analyse hydrogéologique** permettant de prendre en compte, de façon pragmatique et simplifiée, l'impact sur l'AEP des dépassements des normes de qualité des chlorures dans les eaux distribuées. L'objectif de cette analyse est de produire, compte tenu des données et connaissances actuellement disponibles, des scénarios d'évolution des concentrations en chlorures sous changement climatique.
4. **la construction de scénarios à horizon 2050**. Trois grands types de scénarios susceptibles d'impacter à l'avenir l'approvisionnement en eau potable des territoires ont été élaborés :
 - trois scénarios de prospective territoriale ont été construits par le Groupe de Travail lors d'un atelier participatif organisé en novembre 2016. Ces scénarios présentent des visions contrastées de l'évolution possible du territoire à horizon 2050. Ces scénarios ont ensuite été traduits en termes d'impact sur l'évolution de la demande en eau.
 - trois scénarios d'évolution des concentrations en chlorures dans les alluvions de la Moselle sous changement climatique ont été produits par l'analyse hydrogéologique.
 - deux scénarios de crise (pollution de surface et rupture de canalisation) ont été retenus suite à un atelier du Groupe de Travail organisé en novembre 2017. Ces scénarios représentent les principaux points critiques à même de générer un dysfonctionnement ou une interruption du système d'alimentation en eau potable d'ampleur importante à horizon 2050.
5. **la simulation des scénarios** de façon à établir un diagnostic des secteurs géographiques et des problématiques qui pourraient rendre le schéma actuel d'alimentation en eau potable inopérant à horizon 2050.

3. Développement du modèle du schéma AEP

3.1. Principes généraux

L'approche méthodologique retenue est la modélisation du schéma d'approvisionnement en eau potable sur le périmètre d'étude. Les intérêts de cette approche sont les suivants :

- elle permet de simuler et donc d'explorer les impacts de différents scénarios sur l'approvisionnement en eau potable ;
- elle permet de considérer le schéma d'approvisionnement du périmètre d'étude dans son ensemble, en tenant compte de toutes les interconnexions existant entre les différentes UGE.

Le modèle du schéma d'approvisionnement en eau potable représente les infrastructures et éléments suivants (Figure 5) : ouvrages de prélèvements dans les différentes ressources, qui alimentent les différentes stations de traitement, qui permettent de produire de l'eau pour les différentes UGE afin de satisfaire leurs demandes en eau. On représente également les transferts d'eau existant entre UGE (achats/ventes).

Cette étude s'intéresse uniquement à l'approvisionnement en eau, et pas à la distribution de l'eau. Ainsi, les infrastructures de distribution de sont pas représentées dans le modèle. En particulier, les réservoirs d'eau ne sont pas représentés. L'autonomie de stockage des collectivités n'est donc pas considérée dans la présente étude.

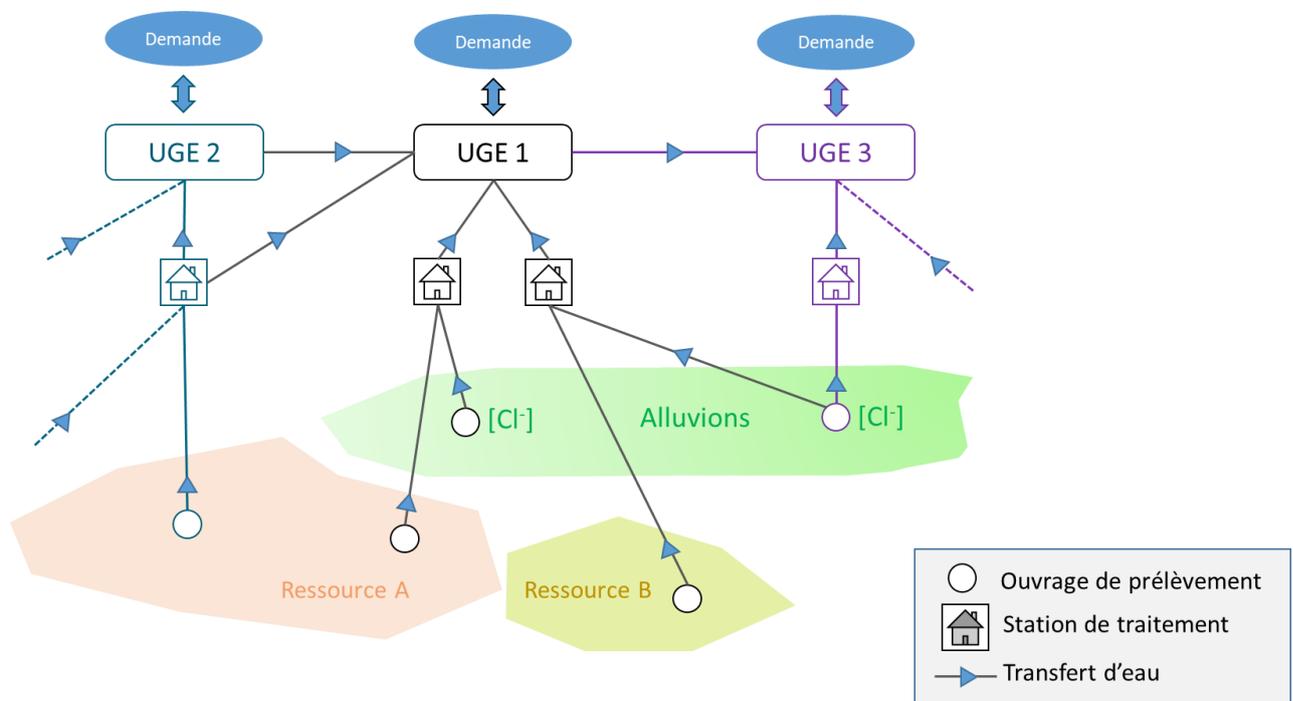


Figure 5 : Schéma conceptuel du modèle du schéma d'approvisionnement en eau potable

Trois grands objectifs ont été fixés au schéma d'approvisionnement en eau potable par les membres du Groupe de Travail, et sont donc pris en compte dans la modélisation :

- l'absence de défaillance de l'AEP ;
- l'absence de dépassement du seuil de référence des 250 mg/l dans les eaux distribuées ;
- la maîtrise du coût du schéma.

Pour un scénario donné, le modèle du schéma AEP va être utilisé pour déterminer comment organiser l'approvisionnement, c'est à dire déterminer quels sont les débits à prélever dans les différentes ressources, à traiter, à transporter et à échanger au niveau des différentes infrastructures AEP, de façon à satisfaire les demandes en eau potable des UGE et de façon à ce que le coût total de l'approvisionnement sur le périmètre soit le plus bas possible. Cette organisation de l'approvisionnement doit en outre respecter les contraintes suivantes : capacités maximales de production des ouvrages de prélèvements et des stations de traitement⁴, et seuil maximum de concentration en chlorures de 250 mg/l dans les mélanges en sortie des stations de traitement.

Afin de prendre en compte la problématique chlorures, le modèle du schéma AEP est couplé à une analyse hydrogéologique (Section 0), qui permet de renseigner le modèle du schéma AEP sur les concentrations en chlorures des eaux prélevées au niveau des différents ouvrages de prélèvement (Figure 6).

⁴ Globalement, les ressources en eau du territoire ne connaissent pas de problème quantitatif. Par conséquent, globalement les prélèvements ne sont pas contraints par des limites quantitatives sur la ressource. Ils sont contraints par les limites de capacités des installations. Toutefois, pour certaines ressources pour lesquelles cela s'avère nécessaire (sources, etc.), des contraintes quantitatives additionnelles sont ajoutées à l'étiage, par une contrainte portant sur les débits d'étiage des ouvrages de prélèvement (Section 3.2.3).

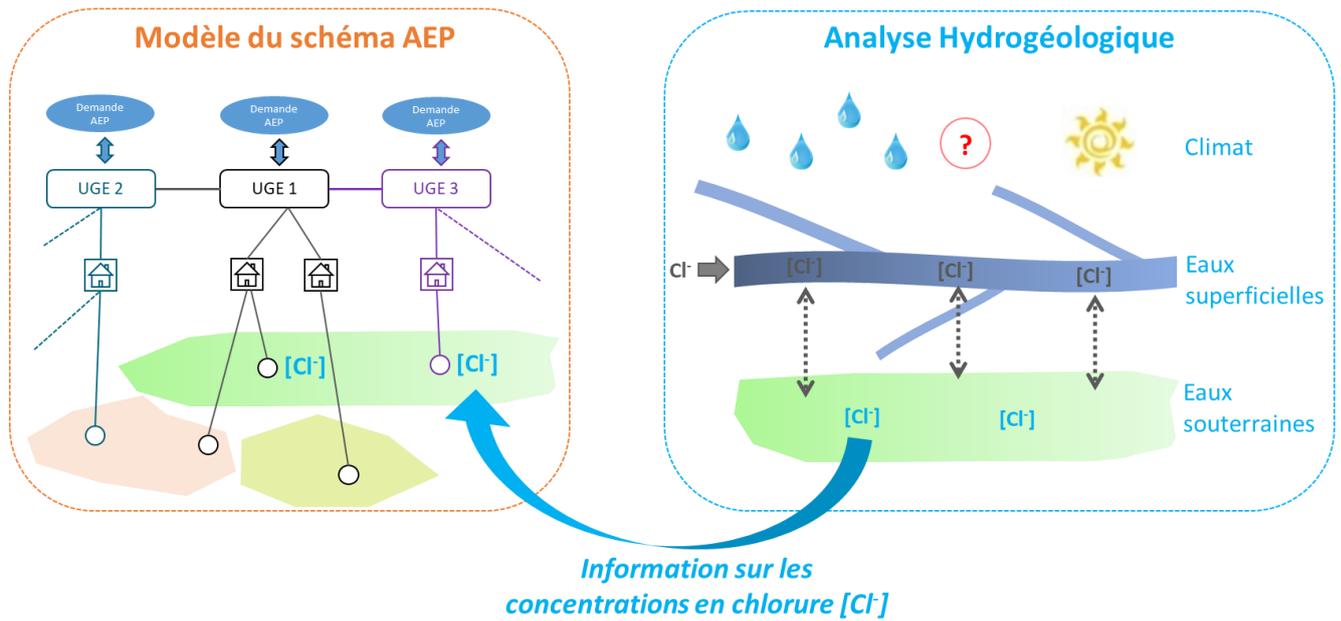


Figure 6 : Couplage du modèle du schéma AEP à l'analyse hydrogéologique

Le modèle du schéma AEP couplé à l'analyse hydrogéologique permet d'explorer l'impact de trois grands types de scénarios face à la problématique chlorures :

- des scénarios d'évolution des besoins en eau à horizon 2050 (Section 5.1) ;
- des scénarios d'évolution des concentrations en chlorures dans les alluvions de la Moselle sous changement climatique (Section 0) ;
- des scénarios de crise, où une partie du schéma d'approvisionnement est rendue inopérante (Section 5.3).

3.2. Caractérisation des schémas d'approvisionnement en eau potable des UGE du périmètre

Le préalable indispensable à la modélisation a été la compréhension et la caractérisation des schémas d'approvisionnement en eau mis en place par les UGE du périmètre. Cet état des lieux a été réalisé pour l'année de référence 2015.

Tout d'abord, l'organisation de l'approvisionnement en eau de chacune des UGE (Encadré 1) du périmètre lors de l'année 2015 a été schématisée, de façon à recenser toutes les ressources, infrastructures de production et infrastructures de transfert d'eau mobilisées et mobilisables (Figure 7). Ces schématisations du fonctionnement de l'AEP constituent la base de l'architecture du modèle. Les schématisations de toutes les UGE du périmètre sont disponibles en annexe (Annexe 2).

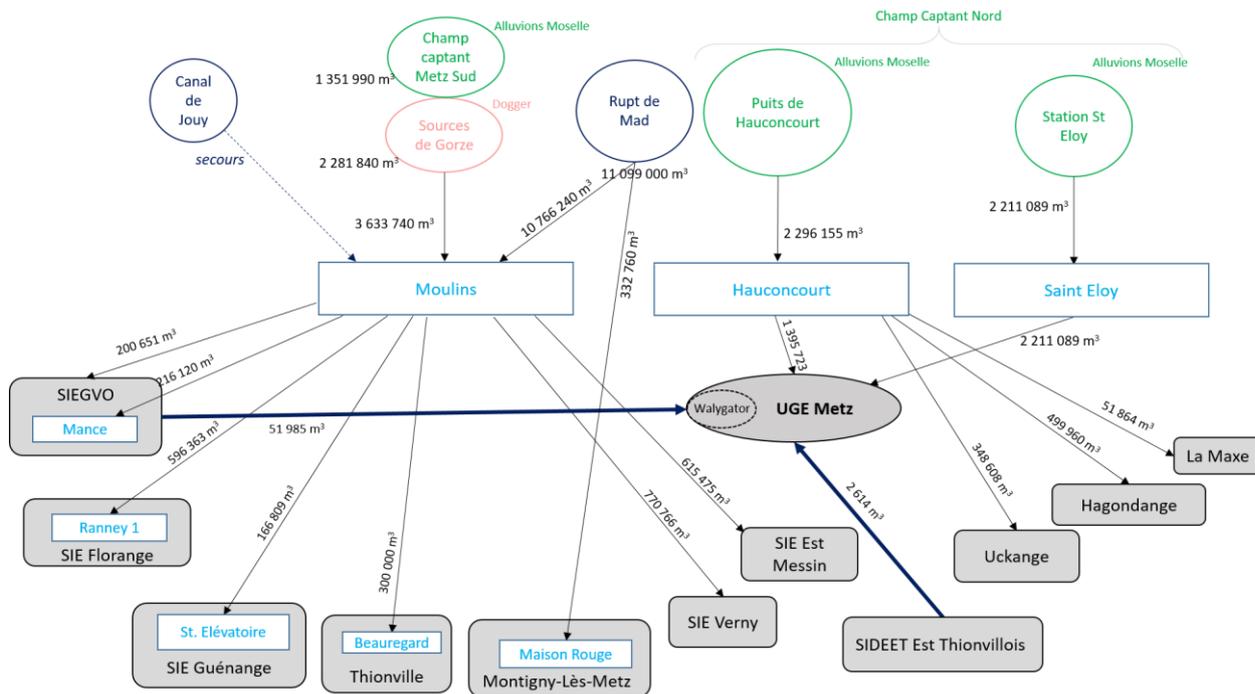


Figure 7 : Exemple de la schématisation du fonctionnement de l'AEP lors de l'année 2015 pour l'UGE de Metz. En bleu figurent les stations de traitement.

Puis, toutes les données nécessaires pour caractériser ce fonctionnement de l'AEP ont été collectées et mises en forme au sein d'une base de données élaborée sous Excel puis spatialisée dans un SIG. Ces données portent à la fois sur la demande en eau potable, les ressources en eau sollicitées, la production d'eau potable et les coûts associés. Sauf mention contraire, toutes les données collectées se réfèrent à l'année 2015.

Encadré 1 : Définition du terme UGE tel qu'utilisé dans la présente étude

Le schéma exploratoire ne portant que sur l'adduction d'eau potable, l'eau est considérée être délivrée à un point fictif situé au centre géographique du territoire constitué par l'ensemble des communes constitutives de l'UGE. Ainsi, on appelle par convention « UGE » le système composé du/des ouvrage(s) de prélèvement, de la/des station(s) de traitement, de cet unique point fictif de distribution, des imports et exports d'eau vers d'autres UGE et des canalisations permettant ces transferts. Il s'agit d'une simplification dans la mesure où les réseaux de distribution et les Unité de distribution d'eau potable (UDI)⁵ ne sont pas représentés alors qu'ils font partie de la filière de l'eau des UGE au sens de l'ARS.

⁵ Réseau de distribution dans lequel la qualité de l'eau est réputée homogène. Une unité de distribution d'eau potable (UDI) est gérée par un seul exploitant, possédée par un même propriétaire et appartient à une même unité administrative.

3.2.1. Sources des données mobilisées

Les sources d'information suivantes ont été mobilisées pour caractériser l'organisation de l'approvisionnement en eau potable sur le périmètre et constituer la base de données :

- les rapports annuels de délégataires (RAD) et/ou les rapports sur le prix et la qualité des services d'eau (RPQS) des 38 UGE pour l'année 2015 ;
- l'observatoire national des services publics d'eau et d'assainissement (SISPEA) qui comprend l'ensemble des indicateurs techniques et financiers figurant dans les rapports sur le prix et la qualité des services d'eau ;
- les schémas de fonctionnement de l'AEP produits par l'ARS pour les départements de la Moselle et de la Meurthe-et-Moselle ;
- la banque nationale des prélèvements quantitatifs en eau (BNPE) qui recense les prélèvements dans les ressources en eau, par localisation géographique, par ressource prélevée et par catégorie d'usage de l'eau⁶ ;
- la banque de données du sous-sol (BSS) qui recense les profondeurs des ouvrages de prélèvement ;
- la banque SISE-EAUX destinée à la gestion des données du contrôle sanitaire des eaux destinées à la consommation humaine par l'ARS qui recense notamment l'ensemble des installations de traitement de l'eau ;
- diverses études menées à l'échelle locale par les collectivités ou les services de l'état, en particulier :
 - o Egis Eau (2012), Sécurisation qualitative et mutualisation des ressources en eau, Champs captant d'Atton et Loisy, Syndicat Mixte des eaux de Seille et Moselle.
 - o Nguyen-Thé (2015), Le chlorure dans la Moselle et sa nappe, Étude des données et opportunité de la construction d'un observatoire. BRGM/RP – 64675-FR, 33 p., 25 ill.
 - o Rozan et al (2016), Analyse historique et économique de la gestion des concentrations en chlorures dans la Meurthe et la Moselle.
 - o SAFEGE (2007), Étude de sécurisation de l'alimentation en eau potable des collectivités mosellanes.
 - o Thirel et al (2017), Rapport final du projet MOSARH21, Évolution des débits futurs sur le bassin du Rhin en contexte de changement climatique, Une évaluation actualisée avec les simulations climatiques du 5^e rapport du GIEC.
 - o Véolia Eau (2011), Étude de sûreté de l'alimentation en eau potable de la Ville de Metz, Rapport, Véolia Eau Région Est.

En complément, des entretiens individuels ont été réalisés auprès des principales collectivités et des opérateurs de services d'eau du territoire pour valider et compléter les données. Des données spécifiques ont également été collectées au cas par cas auprès des services d'eau et d'experts.

⁶ Cette base de données était en cours d'élaboration sur le bassin Rhin-Meuse lors de la phase de collecte des données (2016-2017). Elle n'a pas pu être entièrement exploitée faute de données disponibles pour de nombreux points de prélèvements.

3.2.2. Données principales relatives à la demande en eau potable et aux UGE

Pour chacune des 38 UGE présentes sur le territoire d'étude, les informations suivantes ont été collectées :

- identifiant de l'UGE (SISE-EAUX et SISPEA) ;
- nombre d'abonnés ;
- volume consommé autorisé ;
- volume comptabilisé par usage (domestique et assimilé, industriel, agricole) ;
- volume consommé sans comptage ;
- volume de service ;
- volume prélevé par l'ensemble des ouvrages de prélèvements ;
- importations d'eau ;
- exportation d'eau ;
- prix de l'eau achetée/vendue en €TTC ;
- rendement du réseau d'adduction ;
- population desservie.

3.2.3. Données principales relatives à la production d'eau potable

Pour chacun des 160 ouvrages de prélèvement (OUV) pour l'alimentation en eau potable recensés sur le territoire d'étude, les informations suivantes ont été collectées :

- identifiant de l'ouvrage (BSS et/ou SISE-EAUX);
- UGE en charge de l'exploitation de l'ouvrage ;
- profondeur ;
- volume prélevé en m³/an ;
- ressource prélevée et ses caractéristiques (épaisseur de nappe, transmissivité, etc.) ;
- station de traitement approvisionnée ;
- coordonnées géographiques ;
- contrainte de capacité en m³/j ;
- contrainte de capacité en étiage en m³/j, le cas échéant.

Pour chacune des 55 installations de traitement et de production d'eau (TTP) recensées, les informations suivantes ont été collectées :

- identifiant de l'installation (SISE-EAUX) ;
- UGE en charge de l'exploitation de l'installation ;
- volume produit par l'installation en m³/an ;
- type de traitement réalisé selon la nomenclature de l'ARS :
 - A1 : Traitement physique simple et désinfection ;
 - A2 : Traitement normal, physique et chimique et désinfection ;

- A3 : Traitement physique et chimique poussé et opérations d'affinage et de désinfection.
- coordonnées géographiques ;
- contrainte de capacité en m³/j.

Pour caractériser la contrainte de capacité des installations, le débit équipé de l'installation a été utilisé lorsque la donnée était disponible dans les RAD et RPQS des services d'eau, ou à défaut dans les études de sécurisation réalisées à l'échelle locale. En l'absence de cette information, le débit règlementaire autorisé puis le débit de pointe ont été utilisés à partir des données SISE-EAUX.

3.2.4. Données principales relatives aux transferts d'eau

Deux matrices de transferts d'eau ont été élaborées à l'aide des informations collectées dans les RAD et RPQS et des schémas départementaux de fonctionnement de l'AEP produits par l'ARS.

La première matrice représente les sources d'approvisionnement des UGE qui peuvent être soit des TTP, soit d'autres UGE dans le cas où l'eau est importée. La Figure 8 présente schématiquement le contenu de cette matrice. Les volumes d'eau produits par les éléments en colonne alimentent les éléments en ligne.

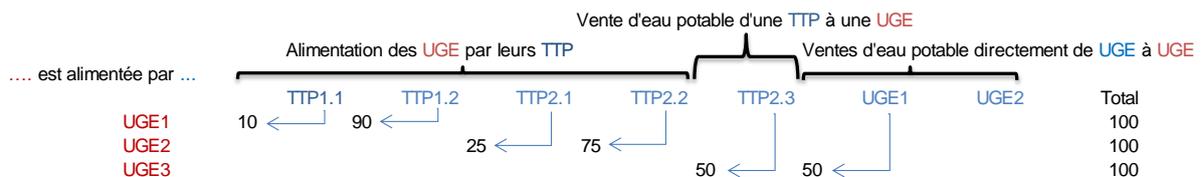


Figure 8 : Schéma simplifié de la matrice de transfert d'eau pour l'alimentation des UGE

La seconde matrice représente les sources d'approvisionnement de l'eau traitée par les TTP. Cette eau peut provenir soit d'ouvrages de prélèvement, soit d'autres TTP. La Figure 9 présente schématiquement le contenu de cette matrice. Les volumes d'eau produits par les éléments en colonne alimentent les éléments en ligne.

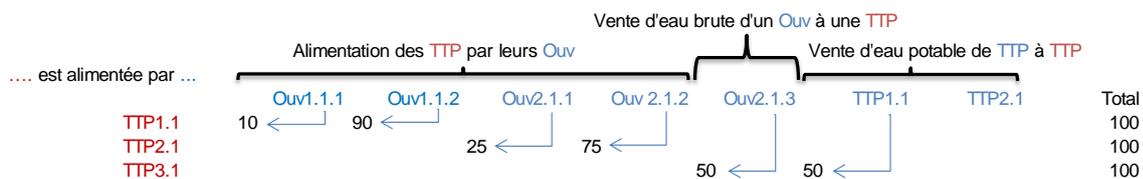


Figure 9 : Schéma simplifié de la matrice de transfert d'eau pour l'alimentation des TTP

Ces matrices représentent l'ensemble des possibilités d'échanges d'eau entre services d'eau. Les canalisations de secours qui n'ont pas été utilisées en 2015 y sont également représentées.

Lorsque les volumes échangés indiqués dans les RAD et RPQS ne sont pas cohérents entre UGE importatrices et exportatrices d'eau, c'est le volume indiqué dans le RAD/RPQS de l'UGE dont le volume produit est le plus élevé qui est utilisé.

Ces matrices recensent 285 transferts d'eau entre ouvrages de prélèvement, TTP et UGE. Certains de ces transferts s'effectuent par des conduites communes. C'est le cas par exemple lorsque plusieurs ouvrages de prélèvements sont localisés sur un même site et alimentent une même TTP. Certains de ces 285 transferts ont donc ensuite été regroupés, de façon à recenser les conduites existantes et l'ensemble des transferts s'effectuant sur chaque conduite.

Pour chacune de ces 175 conduites, les informations suivantes ont été collectées, ou estimées lorsque la donnée n'était pas disponible (Cf. Annexe 3) :

- longueur des conduites ;
- diamètre des conduites ;
- éventuel dénivelé positif à franchir nécessitant un pompage additionnel.

3.3. Caractérisation des coûts d'approvisionnement en eau

Afin que le modèle puisse déterminer comment organiser l'approvisionnement en eau potable sur le périmètre pour un scénario donné, il faut choisir un critère de décision. En accord avec l'objectif de maîtrise du coût du schéma retenu par le Groupe de Travail (Section 3.1), le critère de décision retenu a été le coût de l'approvisionnement. Ainsi, le modèle va chercher à déterminer l'organisation de l'approvisionnement en eau potable permettant de minimiser le coût total d'approvisionnement sur l'ensemble du périmètre.

L'objectif n'est pas de déterminer les coûts exacts d'approvisionnement en eau potable, mais de disposer d'ordres de grandeur permettant d'arbitrer entre les éventuelles différentes solutions d'approvisionnement envisageables. L'idée est de privilégier des ressources facilement accessibles et de bonne qualité, plutôt que des ressources plus profondes, plus lointaines, ou de moins bonne qualité (nécessitant un traitement plus lourd et coûteux).

Le coût total d'approvisionnement considéré se compose des coûts de prélèvement, de traitement, de transport et d'échange. Raisonant à infrastructures existantes, seuls les coûts d'opération sont considérés.

3.3.1. Coûts de prélèvement

L'idée générale est de prendre en compte que le coût de pompage est plus important pour des ressources plus profondes que pour des ressources plus superficielles. Pour chaque ouvrage de prélèvement, on calcule ainsi le coût de pompage des volumes prélevés (C_{pomp}) :

$$C_{pomp} = W \times durée_{fonctionnement} \times Prix_{électricité}$$

La puissance électrique nécessaire (W) est calculée ainsi, en fonction du débit pompé (Q) :

$$W = \frac{Q}{durée_{fonctionnement} \times 3600} \times \frac{9,81}{Rendement} \times (profondeur + S)$$

Avec, le cas échéant, des pertes de charges linéaires (S) dépendant des caractéristiques de la nappe considérée (hauteur H_{nappe} et perméabilité k_{nappe}). Selon la formule de Porchet (simplification de la formule de Dupuit en régime permanent) :

$$\frac{Q}{durée_{fonctionnement} \times 3600} = \frac{2}{3} k_{nappe} \times (2H_{nappe} - S) \times S$$

En faisant l'hypothèse que $2H_{nappe} \gg S$, on a :

$$S = \frac{3}{2 \cdot k_{nappe}} \times \frac{1}{2 \cdot H_{nappe}} \times \frac{Q}{durée_{fonctionnement} \times 3600}$$

Les pertes de charge quadratiques sont considérées négligeables par rapport aux pertes de charge linéaires et ne sont pas prises en compte dans le calcul du coût.

On fait l'hypothèse que le rendement des pompes est de 80%, et le prix de l'électricité considéré est de 0,08 €/kWh (basé sur les tarifs EDF).

3.3.2. Coûts de traitement

Des données relatives aux coûts de traitement (réactifs, énergie, etc.) n'ont pu être collectées que pour quelques stations du périmètre d'étude. Étant donné la faible quantité de données et leur variabilité, l'analyse de ces données n'a pas permis de dégager de règles pour généraliser ces informations à l'ensemble du périmètre via une typologie des stations (type de traitement, taille de station, etc.).

Pour assurer une homogénéité de méthodologie sur l'ensemble du périmètre, il a été décidé d'utiliser la même méthode d'évaluation des coûts de traitement pour toutes les UGE. Au final, on n'utilise donc pas les quelques données collectées. On utilise simplement les coûts de traitement moyens par type de traitement réalisé, selon la nomenclature de l'ARS, disponibles dans la littérature (Tableau 3).

Type de traitement		Coût de traitement (€/m ³)
A1	Traitement physique simple et désinfection	0,10
A2	Traitement normal physique, chimique et désinfection	0,125
A3	Traitement poussé	0,15

Tableau 3 : Coûts de traitement par type de traitement (nomenclature de l'ARS)

Lorsque des transferts d'eau ont lieu d'une TTP vers une autre TTP, il est considéré que l'eau n'est pas re-traitée intégralement une seconde fois. Une simple re-chloration est supposée avoir lieu. Dans ce cas, un coût de re-traitement plus faible est considéré, de 0,06 €/m³.

3.3.3. Coûts de transport

L'idée générale est de prendre en compte le fait que le coût d'approvisionnement est plus important quand on s'approvisionne auprès de ressources plus éloignées. On prend donc en compte le coût de transport de l'eau *i*) des ouvrages de prélèvement aux TTP, *ii*) des TTP aux UGE⁷, *iii*) entre UGE, et *iv*) entre TTP le cas échéant.

Pour chaque canalisation, on calcule le coût (C_{transp}) de l'énergie dépensée pour transporter l'ensemble des volumes (Q , en m³/jour) transitant sur cette canalisation, en fonction du linéaire de conduite ($Dist$) et de l'éventuel dénivelé ($Alti$) :

$$C_{transp} = \frac{Q}{24 \times 3600} \times \frac{9,81}{Rdt} \times (Dist \times J + Alti) \times durée_{fonctionnement} \times Prix_{électricité}$$

Les frottements induisent les pertes de charge suivantes (J), en fonction du diamètre de la canalisation et de son état (k), selon la formule de Levy :

$$J = \frac{k}{1 + 3 \sqrt{Diamètre/2}} \times \frac{(Q/(24 \times 3600))^2}{Diamètre^2}$$

Dans cette étude, on considère que k est égal à 0,003185. Cela correspond aux caractéristiques d'une conduite neuve, auxquelles on a ajouté +30 % pour s'approcher des règles préconisées par les services techniques de Pont à Mousson.

3.3.4. Coût des échanges avec l'extérieur du périmètre

Le schéma exploratoire se place dans le cadre d'une gestion centralisée, où l'on recherche l'organisation optimale sur l'ensemble du périmètre. Ainsi, on ne considère pas de surcoût lié à l'échange (appelé « coût de transfert » en économie) pour les échanges ayant lieu à l'intérieur du périmètre. Seul le coût du transport associé à l'échange est pris en compte.

Pour les échanges avec l'extérieur du périmètre, il n'y a pas suffisamment de données pour évaluer les coûts d'approvisionnement étant donné que les infrastructures AEP situées hors-périmètre n'ont pas été caractérisées dans le cadre de l'étude :

- imports depuis l'extérieur du périmètre : pas d'information pour évaluer les coûts de production et de transport de l'eau importée ;
- exports vers l'extérieur du périmètre : pas d'information pour évaluer les coûts de transport de l'eau exportée.

⁷ Le schéma ne portant que sur l'adduction d'eau potable, l'eau est considérée être délivrée à un point fictif situé au centre géographique du territoire constitué par l'ensemble des communes constitutives de l'UGE (Encadré 1).

Cependant, des informations sur les prix d'achat et de vente sont disponibles. Pour les imports, on considère donc que le coût total de l'import correspond au coût d'achat de l'eau. Pour les exports, on considère que le coût de transfert de l'eau vers l'extérieur du périmètre est égal au prix de vente de l'eau. Ce coût s'ajoutera au coût de production de cette eau sur le périmètre (coût de prélèvement, et coût de traitement le cas échéant). Ainsi, le coût des exports vers l'extérieur du périmètre est surévalué. Étant donné que le coût est le critère de décision dans le modèle d'organisation de l'approvisionnement, cela permet d'établir des priorités dans la satisfaction des demandes. En effet, cela signifie que les demandes d'exports d'eau vers l'extérieur du périmètre seront défavorisées par rapport aux demandes d'eau à l'intérieur du périmètre, car plus coûteuses à satisfaire.

3.3.5. Coût de la défaillance

Le premier objectif du schéma AEP retenu par le groupe de travail est l'absence de défaillance de l'AEP (Section 3.1). Cet objectif est traduit dans la modélisation par un surcoût pénalisant très fortement les éventuelles défaillances. Ainsi, le modèle cherchera à organiser l'approvisionnement de façon à éviter les situations de défaillance.

L'ordre de grandeur retenu pour ce surcoût est l'ordre de grandeur du prix de l'eau en bouteille. En effet, on imagine qu'en cas de défaillance de l'AEP le recours à de l'eau en bouteille serait nécessaire. Ainsi, le coût de la défaillance considéré est de 100 €/m³.

Afin de privilégier la satisfaction des demandes en eau à l'intérieur du périmètre d'étude par rapport aux exports d'eau vers l'extérieur du périmètre, on considère un coût de défaillance réduit de 10% pour les exports (soit 90 €/m³).

Ainsi, via les différents coûts (transport, échange, défaillance), on indique quelles sont les priorités d'approvisionnement dans le modèle :

- 1) chaque UGE satisfait sa propre demande en priorité⁸ ;
- 2) puis les demandes d'achats d'eau des autres UGE incluses dans le périmètre, en priorisant d'abord les UGE les plus proches ;
- 3) et en dernier lieu les demandes d'exports d'eau vers l'extérieur du périmètre.

3.4. Pas de temps du modèle et distribution journalière des données annuelles

3.4.1. Hypothèses de distribution journalière des données annuelles

La problématique chlorures s'exprime au pas de temps journalier, avec des dépassements ponctuels des seuils-limite autorisés, et le modèle du schéma AEP est donc construit au pas de temps journalier. Or, les données de consommation en eau potable collectées pour l'année de référence 2015 sont des données à l'échelle annuelle.

⁸ En mobilisant les ressources les plus accessibles et faciles à traiter en priorité, puis les ressources plus coûteuses à mobiliser.

Il a donc été nécessaire de faire des hypothèses quant à la distribution journalière de ces données tout au long de l'année. Ces hypothèses ont été validées par le Comité de Pilotage de l'étude et sont les suivantes :

- demande en eau du secteur domestique : Les besoins en eau domestiques sont plus importants en été (arrosage, douches plus fréquentes, etc.). On fait l'hypothèse que la demande journalière augmente de 15 %⁹ en été (de mi-juin à mi-septembre) par rapport au reste de l'année.
- demande en eau du secteur domestique, cas de l'UGE du Grand Nancy : la situation de l'UGE du Grand Nancy est particulière. D'après les informations collectées auprès des responsables du service d'eau potable, la demande journalière diminue de 10 % en été, quand les étudiants quittent la ville. Pour le Grand Nancy, l'hypothèse de distribution journalière de la consommation domestique est donc différente des autres UGE, on suppose que la consommation journalière diminue de 10% entre mi-juin et mi-septembre.
- demande en eau du secteur industriel : on considère que la demande n'est pas impactée par les saisons, la consommation annuelle est donc distribuée de façon homogène sur l'ensemble de l'année.
- demande en eau du secteur agricole : Étant donné les volumes facturés, il semble que les besoins en eau agricoles correspondent à des besoins d'élevage plutôt qu'à de l'irrigation. Pour l'élevage, les besoins en eau sont liés à l'abreuvement et au nettoyage. Le besoin d'abreuvement est légèrement augmenté en été. Par ailleurs, une partie des exploitations dépend de sources qui tarissent en étiage, et sollicite alors le réseau AEP en période d'étiage. On considère donc l'hypothèse suivante : consommation journalière augmentée de 30 % de début juin à fin octobre par rapport au reste de l'année.
- demande d'exports d'eau vers l'extérieur du périmètre : on considère que les besoins d'export vers les UGE situées en dehors du périmètre d'étude ont la même distribution temporelle que la demande domestique.

3.4.2. Validation du modèle du schéma AEP

La situation de référence (année 2015) a été simulée avec le modèle et les résultats des simulations ont été confrontés aux données de production d'eau potable en 2015, afin de vérifier la cohérence des résultats modélisés avec la situation observée. Cette étape de validation a permis d'affiner certaines hypothèses de la modélisation, telles que décrites ci-dessus.

⁹ Un coefficient estival de +30% avait tout d'abord été appliqué. Cette valeur était conforme aux hypothèses utilisées dans la plupart des études de sécurisation réalisées sur le territoire. C'est notamment le coefficient utilisé dans l'étude de sécurisation du SAGE Bassin Ferrifère pour les territoires urbains et semi-urbains. Toutefois, ce coefficient a dû être revu à la baisse suite à l'exercice de validation du modèle sur l'année de référence 2015 (Section 3.4.2) et ajusté à +15% à dire d'experts.

4. Analyse hydrologique et hydrogéologique

Afin de construire les scénarios d'évolution des concentrations en chlorures dans les alluvions de la Moselle sous changement climatique à horizon 2050, une analyse hydrologique et hydrogéologique a été menée afin de préciser le contexte de contamination des eaux de surface et souterraines, à travers notamment les échanges surface/souterrain existant entre la Moselle et sa nappe alluviale.

4.1. Contexte hydrogéologique et données disponibles

4.1.1. Éléments de géologie et hydrogéologie des alluvions quaternaires du bassin de la Moselle (AERM, 2002)

a) *Description géologique*

La présente étude est portée majoritairement sur la masse d'eau des Alluvions de la Moselle en aval de la confluence avec la Meurthe (FRCG016). D'une superficie de 244 km², elle est répartie entre les départements de la Meurthe et Moselle et de la Moselle (Figure 10). Le cours d'eau y draine les terrains sédimentaires du Trias, du Lias et du Dogger. En fonction de la résistance des roches affleurantes, la rivière a creusé une vallée à fond plat de largeur variable.

Les alluvions sont constituées d'un mélange de sables plus ou moins fins, de graviers et de galets. Aux alluvions granito-quartzitiques viennent s'ajouter (à l'aval de Sexey-aux-Forges) les apports par surcreusement du lit de la rivière (capture de la rivière), constitués presque exclusivement de calcaires provenant des massifs du Bajocien. Ces alluvions sont disposés selon des couches plus ou moins régulières, liées à une stratification entrecroisée. La couche de base des alluvions présente une granulométrie relativement homogène, elle-même souvent surmontée d'un horizon de sables fins. Leur épaisseur moyenne oscille autour de 5 mètres, avec des valeurs extrêmes variant entre 0 et 10 m. Le substratum des Alluvions de la Moselle est constitué des marnes et calcaires du Lias, sauf à Sierck-Les-Bains, où remontent les séries triasiques, voire le socle. Les alluvions sont souvent surmontées par des formations superficielles, constituées en général de limons, parfois d'argiles. Ces limons sont étalés sur les terrasses et comblent les irrégularités de leur surface. Leur épaisseur varie de 0 à 6 m, avec une moyenne de 1,5 m. En règle générale, ces niveaux sont peu épais sur les terrasses les plus récentes. Ils assurent une certaine protection du système aquifère, notamment contre des contaminations d'origine bactériologique.

b) *Description hydrogéologique*

Les propriétés de l'aquifère rendent ce dernier extrêmement sensible aux aléas climatiques. Les variations saisonnières des précipitations et des débits des cours d'eau sont les principales causes des fluctuations des niveaux de la nappe et des sens d'écoulement, en particulier en période d'inondation de la basse plaine. L'épaisseur mouillée reste le plus souvent inférieure à 4 m.

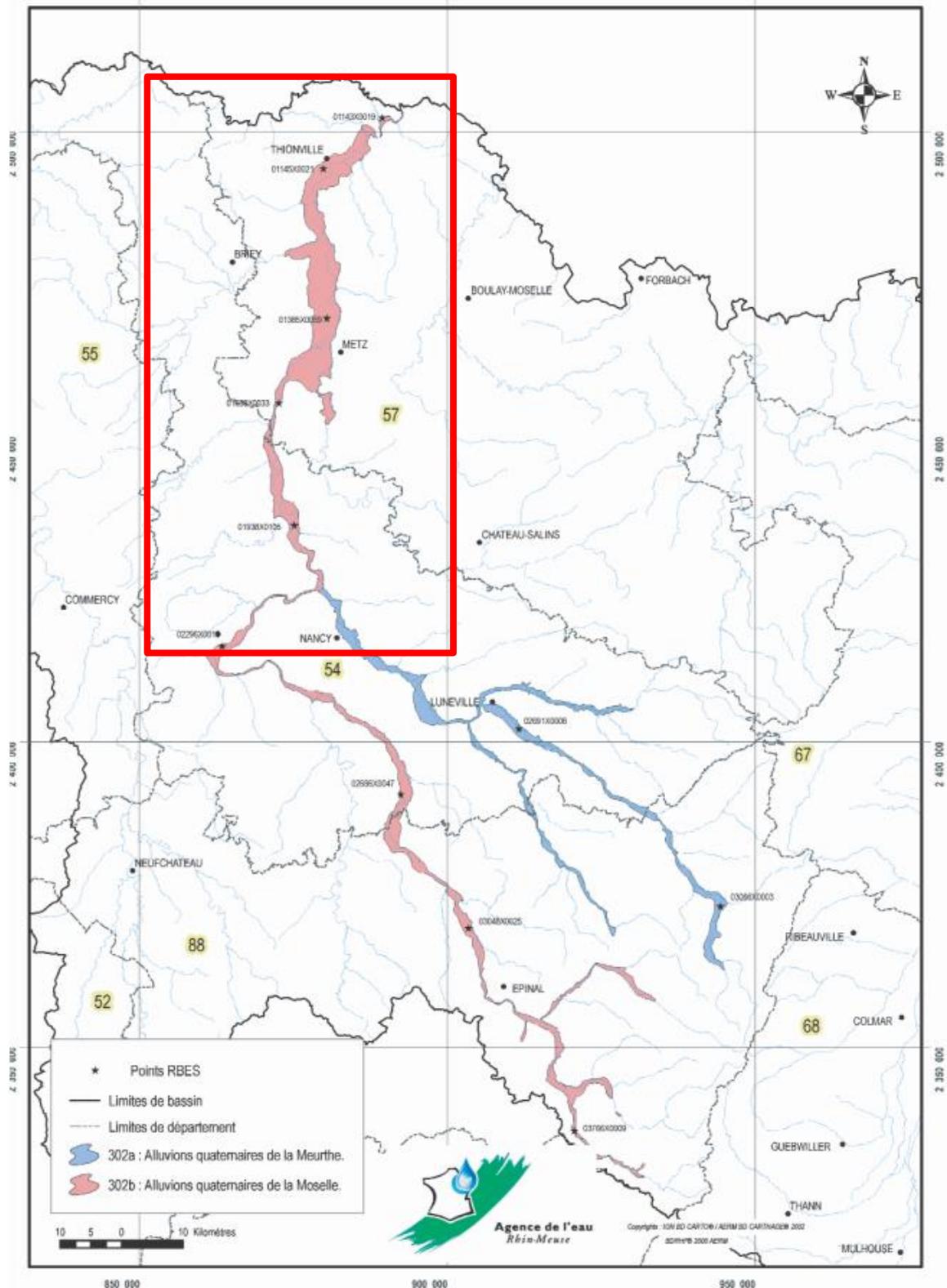


Figure 10 : Localisation du secteur d'étude (encadré rouge) : partie aval des alluvions quaternaires de la Moselle, à l'aval de la confluence Meurthe – Moselle (source : AERM, 2002)

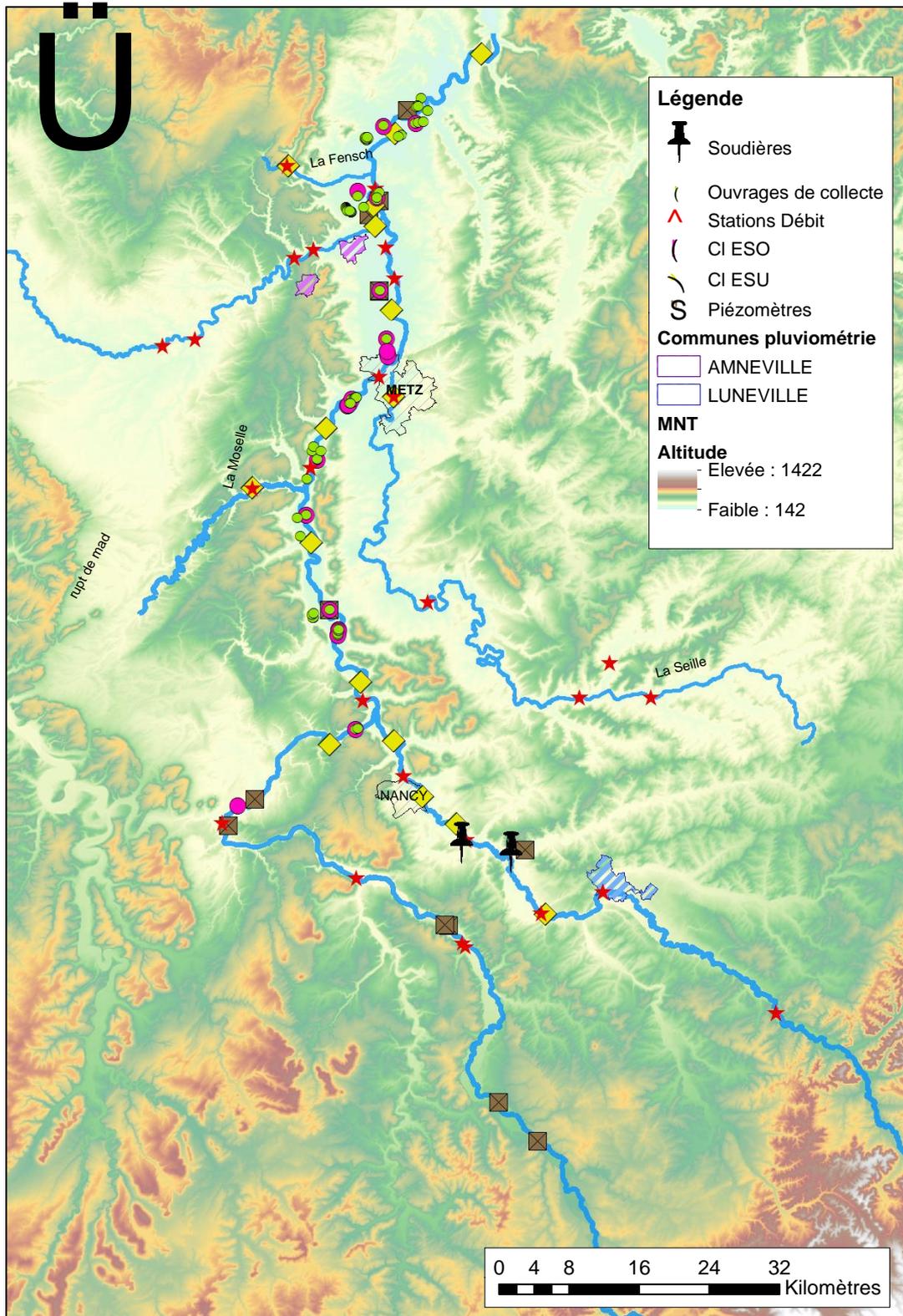


Figure 11 : Carte localisant les soudières sur la Meurthe, et les différents sites de récolte des données hydrologiques et de la qualité des eaux sur fond MNT (IGN©). En trait bleu figurent les principaux cours d'eau (BD Carthage, IGN©)

Au droit de la nappe des alluvions Quaternaire de la Moselle, les perméabilités s'échelonnent entre 5.10^{-4} m/s et $1,1.10^{-2}$ m/s, avec une grande dispersion des transmissivités : $3,1.10^{-4}$ m²/s jusqu'à 7.10^{-2} m²/s. Les coefficients d'emmagasinement sont très variables : de 1 à 21 % en nappe libre. Localement, la nappe peut être semi-captive sous les formations limoneuses, le coefficient d'emmagasinement varie alors de $0,05.10^{-2}$ à $0,5.10^{-2}$. En raison de son accès facile et de bonnes caractéristiques hydrodynamiques, c'est une ressource fortement exploitée malgré la faiblesse de son épaisseur.

Le gradient piézométrique régulier suit la pente du substratum (1 à 3 %) des versants vers la rivière, indiquant son alimentation par la nappe en moyennes et basses eaux. La vitesse d'écoulement de l'eau est faible (0,1 à 10 m/j) en raison du faible gradient de la nappe. Cependant, des vitesses locales beaucoup plus importantes peuvent être mesurées, pouvant atteindre les 100 m/j dans les niveaux les plus perméables et à fort gradient, par exemple au passage de seuils de barrages.

En termes de fond hydrochimique naturel, quelques tronçons présentent des anomalies en sulfate, lié à la dissolution du gypse à la traversée des marnes du Trias. On note souvent la présence de fer et de manganèse dans les parties semi-captives de la nappe (milieu réducteur). La qualité de la nappe est sous la double influence de la Moselle et des coteaux. Selon que la nappe alimente ou draine la rivière, les eaux sont alternativement chargées en nitrates provenant des coteaux ou des chlorures provenant de la Moselle. La nappe est actuellement en mauvais état chimique, dû aux concentrations élevées en chlorures (AERM, DREAL, BRGM, 2013).

4.1.2. Données récoltées

L'étendue spatiale des données climatiques, hydrologiques et de concentration en chlorures récoltées, a été définie en considérant les 85 ouvrages de prélèvements sur les alluvions de la Moselle, de Liverdun au Sud jusqu'à Cattenom au Nord (Figure 11) :

- données pluviométriques (Météo-France) : pluies journalières en mm, mesurées à Amnéville (du 01/01/1980 au 01/10/2017) et à Lunéville (du 01/09/1999 au 01/10/2017) ;
- données hydrologiques (banque HYDRO) : débits journaliers en m³/s, mesurés sur 28 stations hydrométriques sur la Moselle, la Meurthe, le Rupt de Mad, la Seille, l'Orne et la Fensch, du 01/01/1998 au 04/03/2018 (date de téléchargement des données). Seule la chronique de débit de la Moselle à Uckange (station A8500610) a été conservée pour étudier l'évolution des débits de la Moselle (seule chronique complète) ;
- données piézométriques (ADES) : piézométries journalières en m, mesurées sur 11 ouvrages, du 01/01/1998 au 06/03/2018 (date de téléchargement des données). 4 de ces stations seulement sont sur les alluvions de la Moselle en aval de la confluence Meurthe-Moselle, 1 sur les alluvions de la Meurthe en amont de la confluence, et 6 sur les alluvions de la Moselle en amont de la confluence ;
- données de concentrations en chlorures dans les eaux de surface, notées **[CI] ESU**, (SIERM) : données en mg(Cl)/l, collectées sur toutes les stations du bassin Meurthe-Moselle (367 stations), du 01/01/1998 au 31/12/2016 (données de 2017 et 2018 indisponibles). La fréquence de mesure varie d'une station à l'autre, allant de 1 à 1461 données au total sur les 19 années étudiées. 16 stations ont finalement été conservées, 4 stations sur la Meurthe à l'amont de la confluence, 1 station sur la Moselle à l'amont de la confluence, 7 stations sur la Moselle à l'aval de la confluence, 1 sur le Rupt de Mad, 1 sur la Seille, 1 sur l'Orne, 1 sur la Fensch ;

- données de concentrations en chlorures dans les eaux souterraines, notées **[Cl] ESO**, (ADES, ARS, Novacarb, VEOLIA) : données en mg(Cl)/l, du 01/01/1998 au 31/12/2017, mesurées sur 223 sites sur les alluvions de la Meurthe et de la Moselle en amont de la confluence, de la Moselle en aval de la confluence, ainsi que sur divers affluents. 26 de ces sites n'ont pas pu être identifiés en tant que point BSS et localisés. La fréquence de mesure varie d'une station à l'autre, allant de 1 à 235 données au total sur les 20 années étudiées. Seules les stations précisément localisées dans la zone d'étude (sur les alluvions de la Moselle à l'aval de la confluence Meurthe-Moselle, à l'exception de 2 stations en partie amont) et ayant un nombre de données supérieurs à 20 ont été conservées, soit 23 ouvrages, dont 13 de prélèvement.

L'étude a été menée sur une période allant de 1999 à 2017 (dernière année calendaire terminée au moment de l'étude), de manière à ne prendre en considération que les données postérieures à la mise en place des dernières conditions de régulation des rejets salins des soudières (Nguyen-Thé, 2012).

4.2. Contexte hydrologique, hydrogéologique et de contamination des eaux

4.2.1. Schéma conceptuel global des relations Eaux Superficielles/Eaux Souterraines (ESU/ESO)

L'aquifère alluvial est sous 4 influences principales qui contrôlent son niveau de contamination (Figure 12) :

- les précipitations qui participent à la recharge directe de la nappe ;
- les eaux de surface de la Moselle et de ses affluents avec les risques de propagation des contaminations présentes dans cette dernière ;
- les eaux souterraines non contaminées en Chlorures provenant des coteaux bordant la nappe ;
- les prélèvements par pompage.

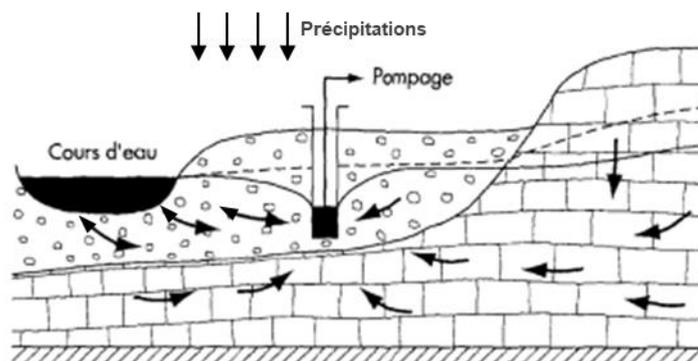


Figure 12 : Schéma conceptuel d'un ouvrage dans une nappe alluviale (modifié d'après Lallemand-Barrès A., Roux J.-C., 1999)

Les processus principaux qui contrôlent le niveau de contamination des eaux souterraines sont les interactions surface/souterrain entre la Moselle et sa nappe alluviale, et les apports depuis les versants jouant un rôle potentiel de dilution.

4.2.2. Contamination en Cl des ESU sur le linéaire Meurthe-Moselle

L'analyse de la contamination des eaux de surface ESU sur le linéaire de la Moselle porte sur la comparaison des concentrations moyennes mensuelles et des flux moyens mensuels estimés au niveau des stations hydrométriques (concentration x débit). Les résultats sont présentés Figure 13 avec des données depuis 1999 sur l'axe principal de la Moselle et la Meurthe depuis l'amont de la zone contaminée (couleur vert clair) vers l'aval de la zone d'étude (couleur rouge).

Concernant les concentrations, on observe une forte variabilité amont - aval avec 3 niveaux principaux :

- la Meurthe en amont des contaminations avec un bruit de fond de quelques mg(Cl)/L ;
- la Meurthe en aval des soudières et du Sânon avec des concentrations qui oscillent entre 400 et 1600 mg(Cl)/L ;
- la Moselle en aval de sa confluence avec la Meurthe avec des concentrations stables le long du linéaire entre 50 et 600 mg(Cl)/L.

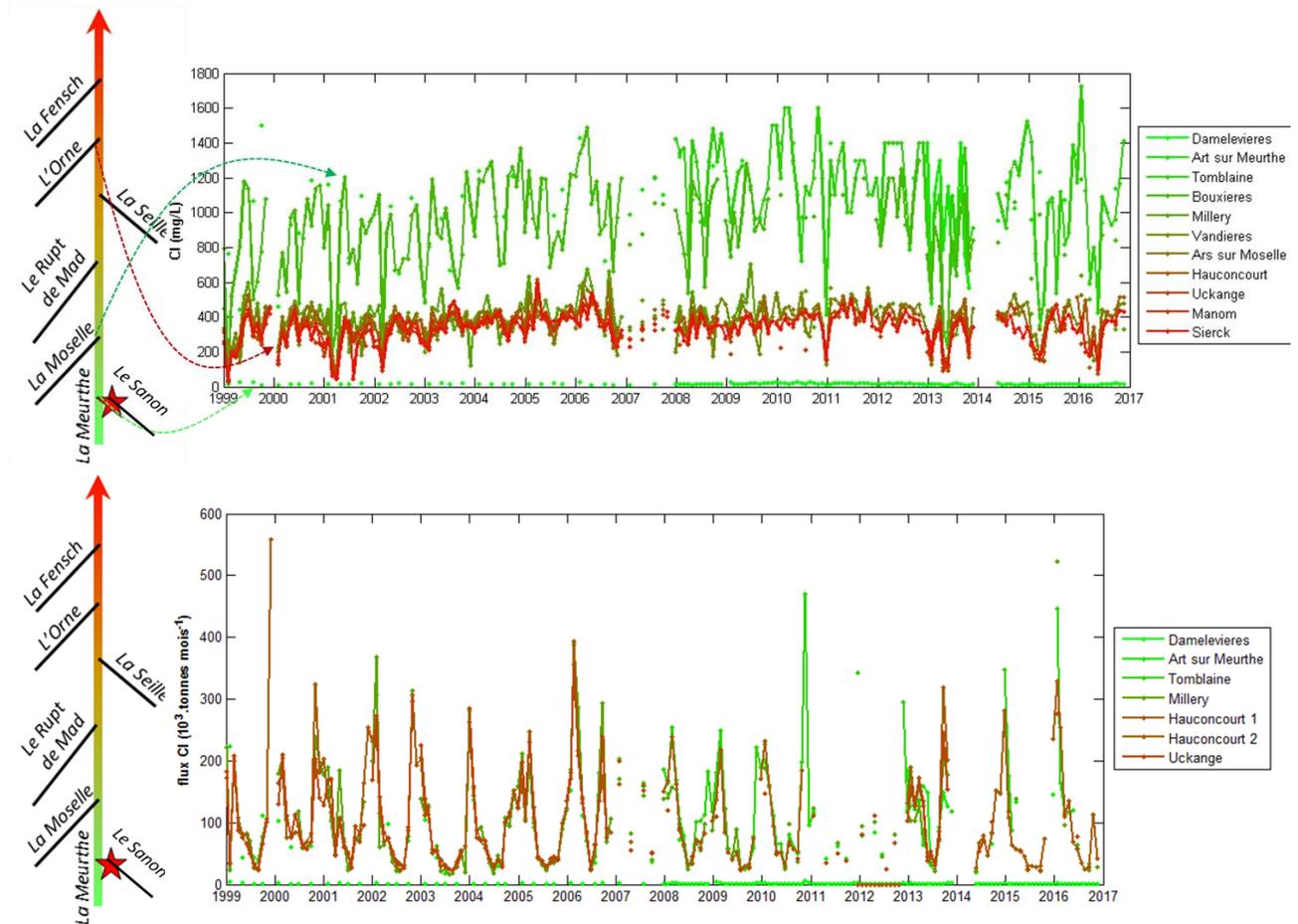


Figure 13 : Evolution temporelle des concentrations en chlorures (haut) et des flux de chlorure (bas) le long du linéaire Meurthe-Moselle (code couleur vert clair à rouge d'amont en aval)

On n'observe donc pas de dilution ni de concentration significative sur le tronçon Moselle par les affluents secondaires, y compris au niveau de la Seille qui est un affluent fortement enrichi en Cl (Cf. Annexe 4).

Concernant les flux, c'est-à-dire les quantités transportées par les eaux de surface, on observe une forte homogénéité des courbes entre l'amont et l'aval de la zone contaminante :

- les variations annuelles sont en lien avec les périodes hautes / basses eaux (de faibles débits conditionnent de faibles flux) ;
- la propagation des flux depuis la Meurthe est sans pertes ni apports significatifs le long du linéaire Meurthe-Moselle précisant que la zone contaminante est bien principalement et uniquement localisée au niveau de la zone des soudières et de la confluence avec le Saron.

4.2.3. Contamination en CI des ESO

a) Synthèse des données

Comme précisé précédemment, en dépit des multiples sources de données de [CI] ESO, sur les 223 sites de mesure pour lesquels des données existent, seuls 23 ouvrages ont pu être conservés. Le nombre de données [CI] par ouvrage est faible, et varie fortement d'un ouvrage à l'autre, que ce soit en termes d'années de suivi ou en termes de fréquence annuelle (Figure 14).

Code BSS	N°	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	Total
02296X0013/PR2	1		5	3	4	3	4	3	4	3	4	4	4	3	4	4	5	4	5	4		70
02294X0092/F	2		1		1		1		1	1			1		1		1				13	21
01938X0104/P1	3		12	12	12	11	12	12	13	12	13	12	12	6	7		1	12	16	16	5	196
01938X0105/P2	4		15	15	15	15	15	15	16	15	16	17	17	7	6	6	4	16	16	4	5	235
01938X0117/P4	5	1	11	12	11	12	12	12	13	12	13	12	12	7	7		2	12	16	16	5	197
01938X0118/P5	6	1	11	12	11	12	13	12	12	13	12	12	15	7	6	2		12	16	16	5	200
01934X0173/P	7	1		1		1	1	1	3	7	4	4	5	3	1	1		6	4	6		49
01638X0207/P1	8			4		1	1	1		1		3	9	8	6	7	8	9	8	8	5	79
01638X0033/F1	9		3	3	3	4	3	4	3	4	3	5	2	4	2	5	4	5	4	5		66
01634X0111/21	10										52	52	53	53								210
01634X0109/13	11										52	51	53	51								207
01641X0109/P11	12										52	52	53	53								210
01641X0080/P1	13	11	3	3	2	2	2	2	9	9	11	17	19	8	5	5	7	6	7	8	2	138
01385X0063/P1	14							5	5	6	6	6	3									31
01385X0065/P3	15							5	6	6	6	6	3									32
01385X0068/P6	16							6	6	6	5	6	3									32
01385X0071/P9	17							6	3	6	6	5	3									29
01385X0059/PC	18		4	5	5	5	5	5	5	5	4	5	4	5	3	6	6	6	6	4		88
01385X0167/P102	19									13	6	6	6	4	4	4	4	4	4	4	3	62
01381X0033/P1	20													3	6	1		1	4	4	5	24
01381X0086/P13	21													3	3	4	4	4	4	4		26
01145X0021/F	22		3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	3	3	2	4	4	4	4	4		59
01146X0011/P1	23			1		1		1		1		1	6	7	6	4	4	5	4	5		46

Figure 14 : Nombre de données de [CI] ESO disponibles de 1998 à 2017 pour l'ensemble des 23 ouvrages conservés, classés d'amont en aval (cases blanches : aucune donnée ; couleurs rouge à jaune : peu de données ; couleurs vert clair à vert foncé : nombre de données plus conséquent)

Il apparaît donc complexe de définir une typologie de ces ouvrages et d'établir des scénarios d'évolution des [CI] ESO en s'appuyant exclusivement sur ces chroniques, incomplètes.

b) Typologie des ouvrages de mesure en eau souterraine à partir de [CI] ESU et ESO

Deux approches ont été testées pour définir une typologie des ouvrages. Elles sont présentées en Annexe 5. L'approche retenue consiste à comparer le signal pluriannuel des chroniques [CI] ESO avec celle [CI] ESU de la Moselle à Hauconcourt. Sur la base des corrélations obtenues, 3 groupes ont été distingués :

- groupe A: influencé par la Moselle ;
- groupe B: influence mixte, ouvrages qui présentent une tendance similaire, mais avec des variations ;
- groupe C: peu d'influence de la Moselle, les ouvrages présentant une tendance différente.

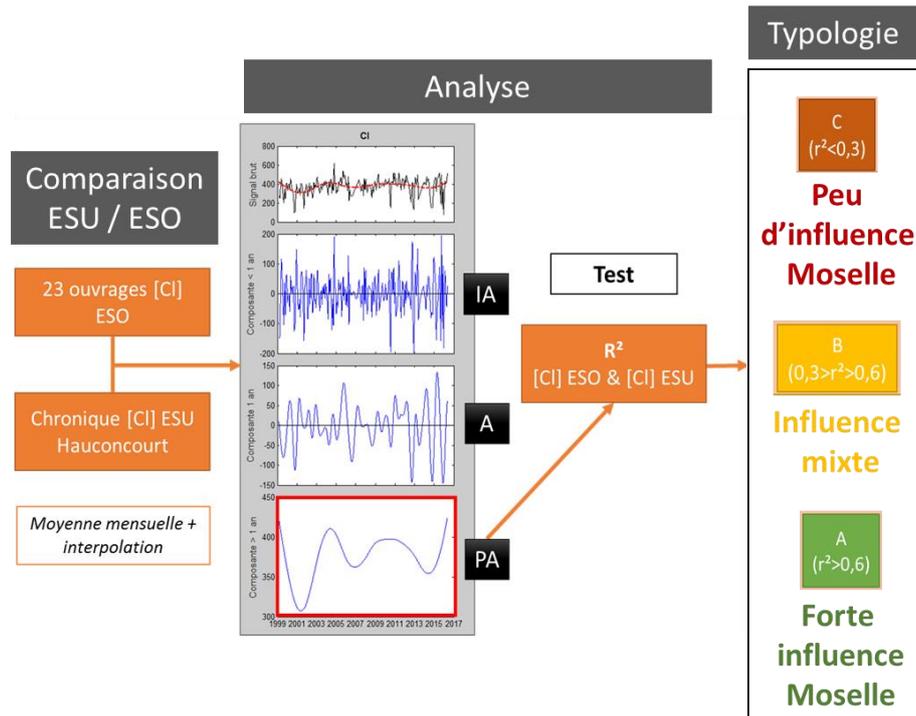


Figure 15 : Description de l'approche utilisée pour réaliser la typologie des eaux souterraines

En remplaçant les résultats de cette typologie sur une carte (Figure 16), il est possible de délimiter 2 secteurs :

- un secteur amont, de la confluence Meurthe-Moselle au Nord de Metz, présentant des ouvrages de type A et B essentiellement : dans ce secteur, les ouvrages semblent principalement influencés par la Moselle, avec l'existence d'autres facteurs impactant plus ou moins les [CI] ESO en fonction de l'ouvrage concerné ;
- un secteur aval, de Hauconcourt à la limite Nord de la zone d'étude (Cattenom), présentant des ouvrages de type C : dans ce secteur, l'influence de la Moselle semble moindre. Les [CI] ESO pourraient alors être plus influencés par les apports non contaminés des coteaux, les précipitations directes sur les formations alluviales, etc.

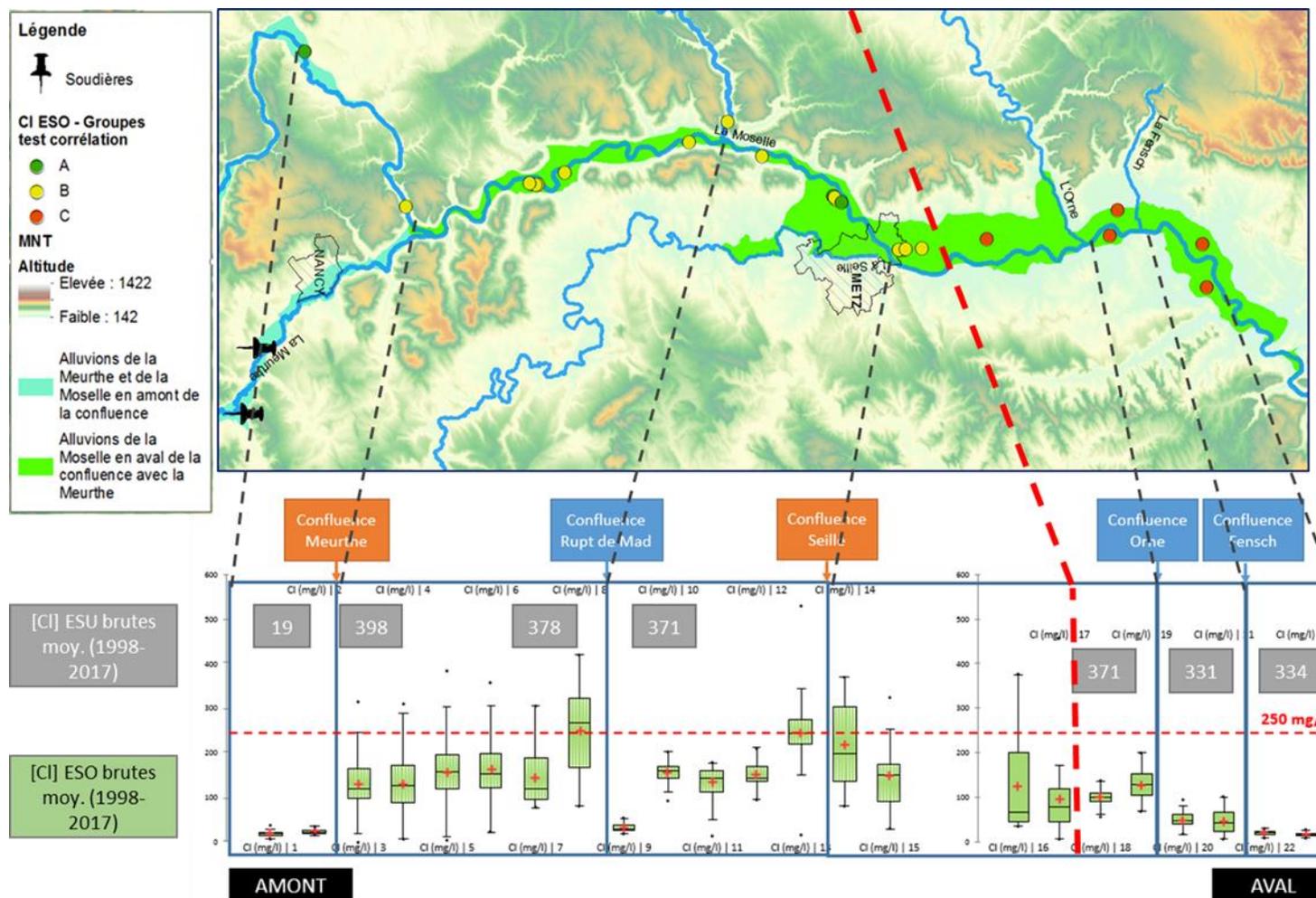


Figure 16: Carte représentant la typologie des ouvrages de mesure des [Cl] ESO et box-plots des données de concentrations en Cl brutes (mg/l) pour les 23 ouvrages de mesure. Les encadrés gris correspondent aux [Cl] ESO moyennes de la Moselle. Les traits pointillés gris indiquent les zones de confluence. Le trait pointillé rouge sépare le secteur Amont du secteur Aval défini en partie 0

En revanche, de fortes variations de [Cl] ESO sont observées en étudiant, par le biais de box-plots, les données brutes (de 1998 à 2017) des 23 ouvrages de mesure en nappe alluviale : elles augmentent après les confluences Moselle-Meurthe et Moselle-Seille, et diminuent après les confluences Moselle – Rupt de Mad, Orne et Fensch (Figure 16).

Au vu des remarques faites précédemment concernant les faibles variations de [Cl] sur le linéaire de la Moselle, de la confluence Meurthe-Moselle à la limite Nord de la zone d'étude, ces variations importantes observées sur les [Cl] ESO ne s'expliquent pas par les concentrations observées dans la Moselle.

Par ailleurs, il est important de noter que les différences, d'un ouvrage à l'autre, de nombre et de fréquence des mesures de [Cl] ESO impactent l'interprétation de ce graphique. Une analyse des facteurs pouvant influencer les corrélations ESO-ESU est présentée en Annexe 5.

4.3. Approche développée pour caractériser les scénarios de concentrations en chlorures

L'objectif est de construire des scénarios d'évolution des concentrations en chlorures sous changement climatique, pour chacun des ouvrages prélevant dans les alluvions de la Moselle.

On choisit de construire trois scénarios différents, correspondant à trois types d'années climatiques : une année moyenne, une année sèche, et une année très sèche.

Quatre étapes jalonnent l'approche développée pour caractériser les scénarios :

- 1) identifier des années type (moyenne, sèche, très sèche) en termes de pluviométrie, de débits, et de [Cl] ESU à partir des données historiques de 1998 à 2017 ;
- 2) effectuer une sectorisation des ouvrages de mesure et de collecte en prenant en compte la typologie précédemment réalisée (section 4.2.3) ;
- 3) reconstituer des chroniques de concentrations journalières pour l'ensemble des ouvrages en utilisant les signaux déconvolués [Cl] ESU et [Cl] ESO, pour les trois années type historiques identifiées, en associant aux différents ouvrages le comportement de l'ouvrage de mesure de son secteur ;
- 4) constituer des scénarios d'évolution des [Cl] ESO pour les 3 années type sous changement climatique.

Les principales étapes de l'approche sont présentées ci-après dans cette section. Les résultats obtenus sont présentés dans la Section suivante 4.4.

4.3.1. Sélection des années type (moyenne, sèche, très sèche)

Une étude préalable sur la variabilité temporelle des pluies annuelles, des débits annuels et de la contamination des ESU à Hauconcourt a permis de caractériser une forte variabilité du régime hydrologique de la Moselle. Les détails de cette étude sont présentés en Annexe 6.

Pour évaluer l'évolution des concentrations qui résultent de cette variabilité, l'étude des données de pluies et de débits de la Moselle est complétée par une étude des données de [Cl] au niveau de la station de mesure d'Hauconcourt. Pour cette station, les 222 données récoltées sur le SIERM sont complétées par 3652 données journalières mesurées par le BRGM de 2001 à 2010. Il s'agit donc de la chronique la plus complète de l'ensemble des stations retenues.

Les résultats sont présentés en Figure 17 sous la forme de l'évolution des écarts à la moyenne. Ils montrent la forte variabilité des concentrations moyennes qui se surimpose à la forte variabilité hydrologique des pluies et des débits. En conséquence, pour balayer la plupart des situations observées depuis plus de 15 années de suivi, il est décidé de sélectionner 3 années types qui caractérisent les principales situations d'années moyennes et sèches (les années humides n'étant pas considérées dans l'analyse du fait de leur absence de contrainte sur le schéma AEP)

Les années types sélectionnées, sont les suivantes :

- **année moyenne** : année où la différence par rapport à la moyenne des précipitations, des débits et des [Cl] est proche de 0. C'est le cas essentiellement de l'année **2008**.
- **année sèche, début de période déficitaire** : année où la différence par rapport à la moyenne des précipitations et des débits est négative (pluies et débits plus faibles que la moyenne), la différence par rapport à la moyenne des [Cl] peut être faible (bien que positive), liée à la dilution engendrée par les hautes eaux de l'année précédente. On observe ces phénomènes en **2003**. L'année 2009 présente des tendances similaires, mais les déficits en termes de précipitations et de débits sont moins importants.
- **année sèche, fin de période déficitaire** : année qui fait suite à une ou plusieurs années de faibles précipitations et de débits réduits. La différence par rapport à la moyenne des précipitations et des débits est négative, en revanche la différence par rapport à la moyenne des [Cl] est positive (faible dilution des chlorures dans l'eau de surface due à une baisse de débit prolongée). C'est le cas de l'année **2005**. L'année 2011 est semblable à l'année 2005 et présente même des [Cl] plus importantes, mais elle fait suite à une année de précipitations plus élevée que la moyenne.

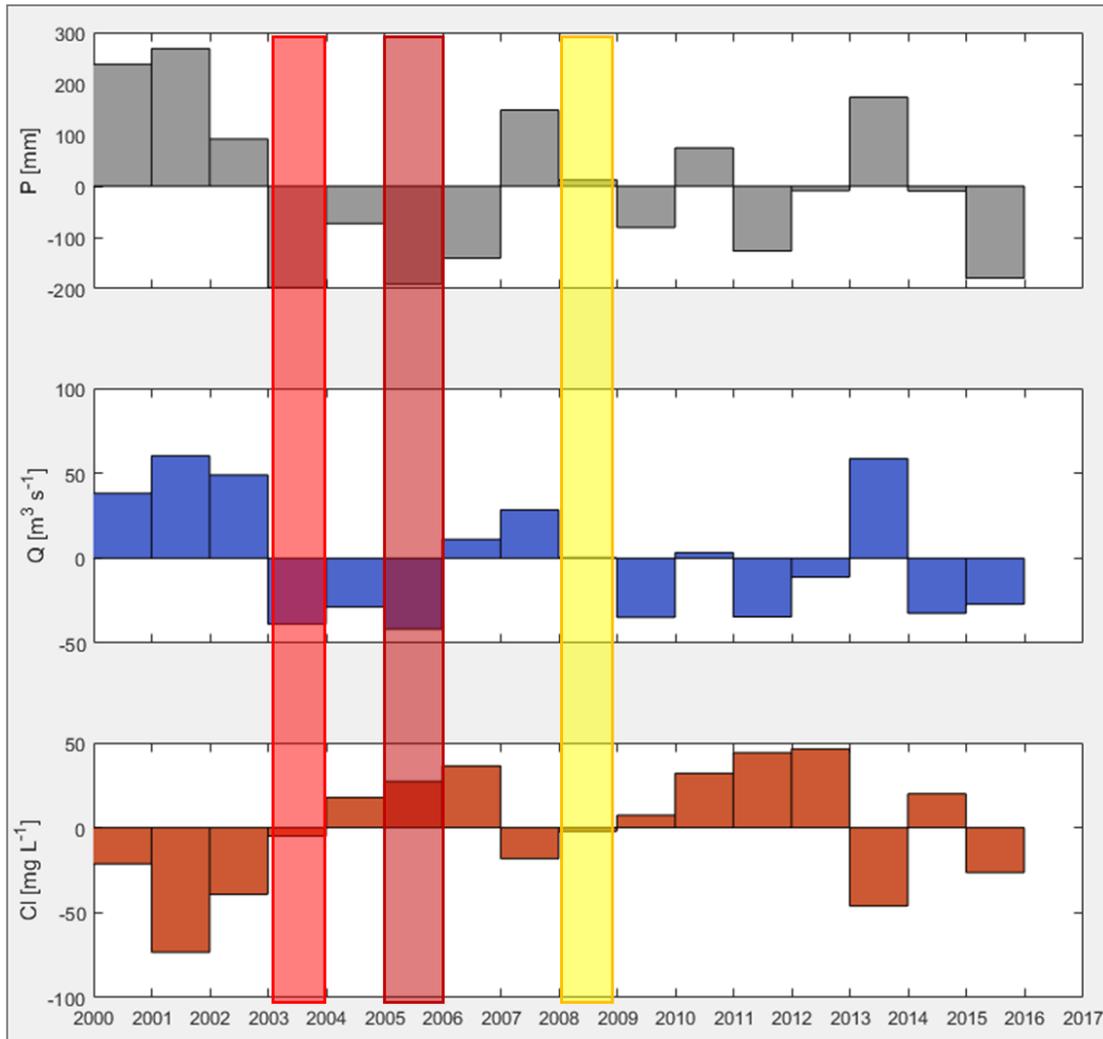


Figure 17 : Histogrammes des écarts par rapport aux valeurs moyennes de précipitations (pluviométrie moyenne d'Annéville et de Lunéville) débits de la Moselle à Uckange et [Cl] à Hauconcourt. En jaune est encadrée l'année moyenne type, en rouge l'année sèche de début de période déficitaire, en rouge sombre rouge l'année sèche de fin de période déficitaire

Une analyse des tendances en chlorures est détaillée en Annexe 6 et résumée ci-dessous :

- **année moyenne (2008)** : moyenne des [Cl] entre 300 et 400 mg/l. L'évolution de ces concentrations est corrélée aux débits de la Moselle, débits permettant aux soudières de décider de l'importance des volumes d'eau chargée en chlorures à rejeter. Les épisodes de fortes précipitations induisent une augmentation notable de débits, pouvant provoquer une dilution plus importante des chlorures.
- **année sèche, début de période de déficit (2003)** : moyenne des [Cl] entre 200 et 450 mg/l (échelle de variation plus large qu'en année moyenne). L'évolution de ces concentrations est corrélée aux débits de la Moselle en période de débits plus élevés (automne, hiver). Lors des périodes déficitaires (printemps, été), les [Cl] dans l'eau restent élevées, les débits ne permettant plus la dilution des [Cl] même après la réduction des rejets. Les épisodes de fortes précipitations n'induisent plus d'augmentation notable de débits dès le printemps.

- **année sèche, fin de période de déficit (2005)** : moyenne des [Cl] entre 350 et 450 mg/l (plus élevées qu'en année moyenne). La tendance globale est similaire à celle de l'année moyenne : l'évolution des [Cl] est corrélée aux débits de la Moselle. Les épisodes de fortes précipitations n'induisent pas systématiquement d'augmentation notable de débits au cours des périodes automnale et hivernale.

4.3.2. Sectorisation des ouvrages en nappe

Une division de la zone d'étude en plusieurs secteurs a été réalisée, afin d'associer à chaque ouvrage de collecte (ouvrage de prélèvement) un point de mesure de [Cl] en nappe alluviale. La chronique de [Cl] d'un ouvrage de collecte sera celle recalculée à partir des données du point de mesure le plus proche. Quand le nombre d'ouvrages de mesure étudiés le permet, une différenciation des rives (les lithologies, et donc les apports des versants, pouvant être différents de chaque côté de la Moselle), et la proximité des différentes confluences Moselle-affluents est également considérée. **Lorsqu'un ouvrage de collecte fait aussi office d'ouvrage de mesure, l'association des 2 est faite de manière systématique.** Le manque de données oblige la plupart du temps l'association de plusieurs ouvrages de collecte à un même d'un point de mesure.

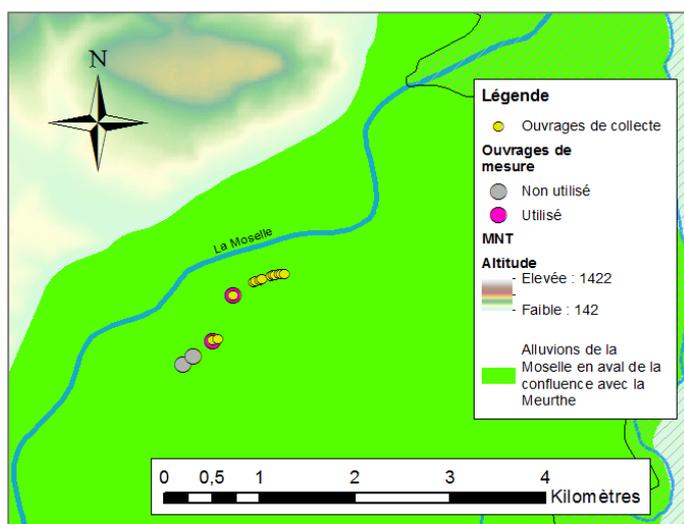


Figure 18 : Localisation des points de mesure et ouvrages de collecte du secteur 7

La Figure 19 localise les secteurs définis et les ouvrages de mesure (en rose) et de collecte (en jaune) concernés. Les secteurs 2, 3 et 8 contiennent chacun 2 points de mesure correspondant directement aux ouvrages de collecte. Le secteur 7 compte également 2 points de mesure (Figure 18), l'un correspondant directement à un ouvrage de collecte et proche d'autres ouvrages (Metz-Sud, plus au Nord), l'autre étant plus proche d'un second groupe d'ouvrages de collecte (Maison Rouge, plus au Sud).

Au total, sur les 23 points de mesure initialement sélectionnés, seuls 16 vont servir à la reconstitution de chroniques de [Cl] au droit des 85 ouvrages de collecte. 7 points de mesure ont en effet été retirés (en amont du secteur 1, et au niveau des secteurs 7 et 8), car trop éloignés des ouvrages de collecte, ou bien à proximité d'ouvrages de collecte faisant également office de site de mesure.

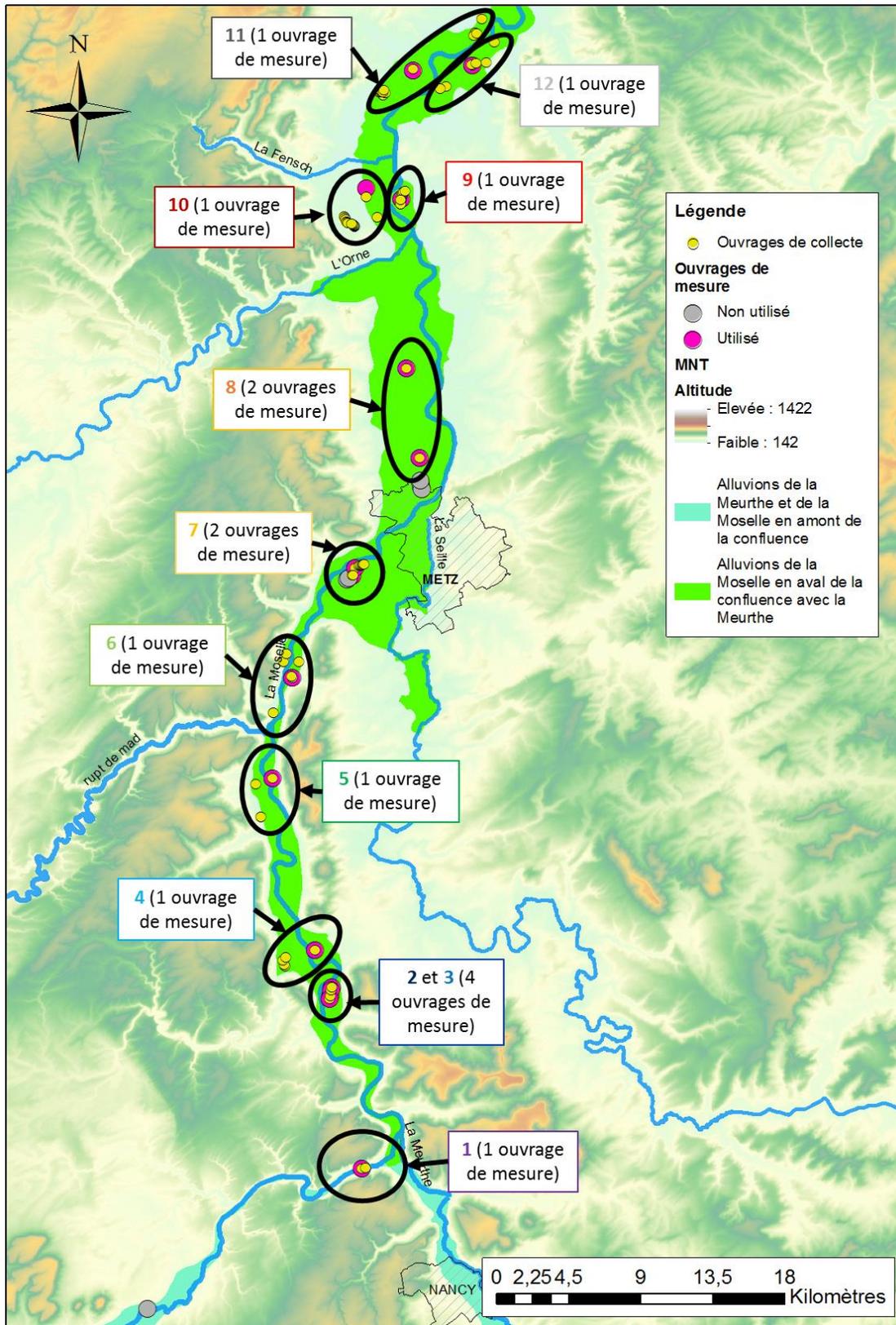


Figure 19 : Localisation des 12 secteurs définis pour l'association de chroniques de concentrations en Cl en nappe aux ouvrages de collectes les plus proches, sur fond MNT (IGN). En trait bleu figurent les principaux cours d'eau (BD Carthage, IGN)

4.3.3. Création des chroniques [Cl] ESO

L'approche développée pour reconstituer les chroniques de concentration dans les ESO est présentée en Figure 20. Pour les 16 points de mesures de [Cl] ESO, associés chacun à un ou plusieurs ouvrages de collecte, les chroniques de [Cl] ont été reconstituées à partir des composantes infra-annuelles (IA), annuelles (A) et pluri annuelles (PA) de la chronique de [Cl] mesurée dans la Moselle à Hauconcourt (**ESU**), et des chroniques mesurées au droit de ces points de mesure en nappe (**ESO**). Ces composantes ont dans un premier temps été recalculées (suivant la méthode décrite en Section 0) à un pas de temps journalier, pour les besoins du modèle. Deux calculs ont alors été testés pour chacun des 16 ouvrages selon qu'ils sont influencés ou peu influencés par la Moselle.

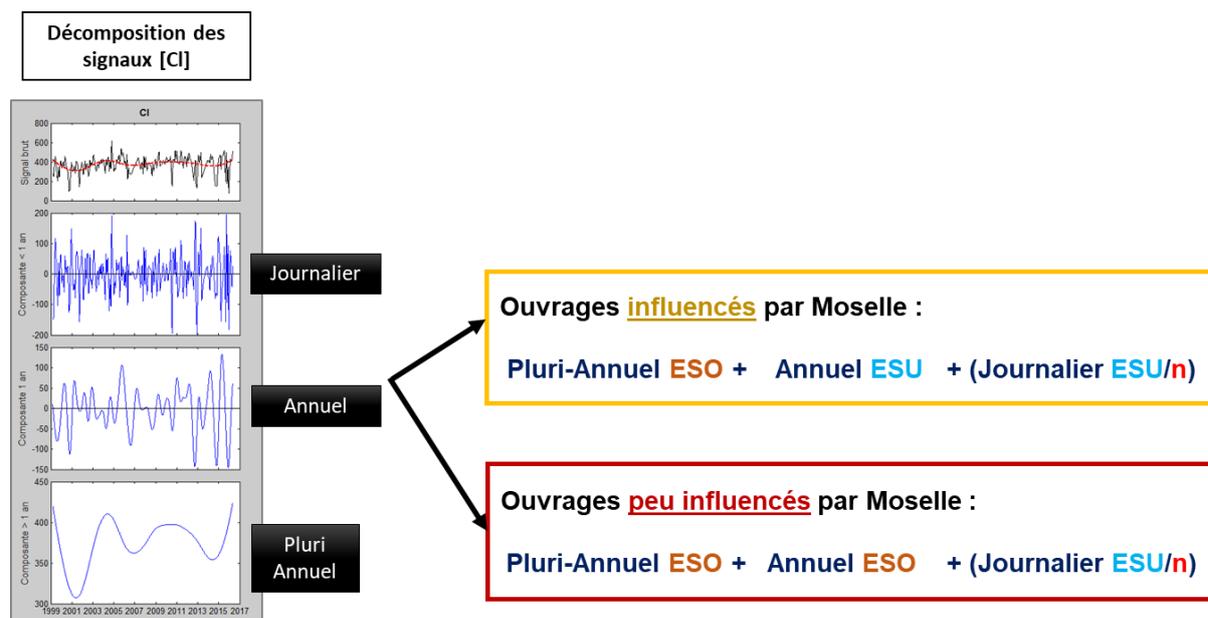


Figure 20 : Description de l'approche utilisée pour créer des chroniques de concentration dans les ESO à partir des composantes journalières, annuelles et pluri-annuelles des chroniques ESO et ESU

Les chroniques obtenues ont été comparées visuellement aux données brutes sur toute la période de mesure, puis sur les 3 années type (2003, 2005, 2008). Les calculs ont également été ajustés suite à plusieurs itérations du modèle économique développé, dans le but d'estimer la pertinence des résultats obtenus en terme de nombre de jours de dépassement du seuil de 250mg(Cl)/l sur la période actuelle.

a) Ouvrages influencés par la Moselle (calcul 1)

$$[CI\ ESO]_1 = \text{Pluri-Annuel ESO} + \text{Annuel ESU} + (\text{Infra-Annuel ESU}/n)$$

Pour ce calcul, le signal pluri-annuel utilisé est celui obtenu à partir des données brutes des eaux souterraines, de manière à conserver la tendance observée en nappe à grande échelle de temps. Les composantes annuelles et infra-annuelles utilisées sont celles obtenues à partir des données brutes sur la Moselle à Hauconcourt, afin de retrouver sur la chronique finale l'influence marquée des eaux de la Moselle sur les eaux de la nappe. La composante infra-annuelle a été divisée par un coefficient de lissage n pour réduire l'amplitude des variations de $[CI]$ (plus faible que dans la Moselle elle-même), avec $3 < n < 10$. La Figure 21 présente un exemple de lissage réalisé pour l'ouvrage 01938X00117 (secteur 3).

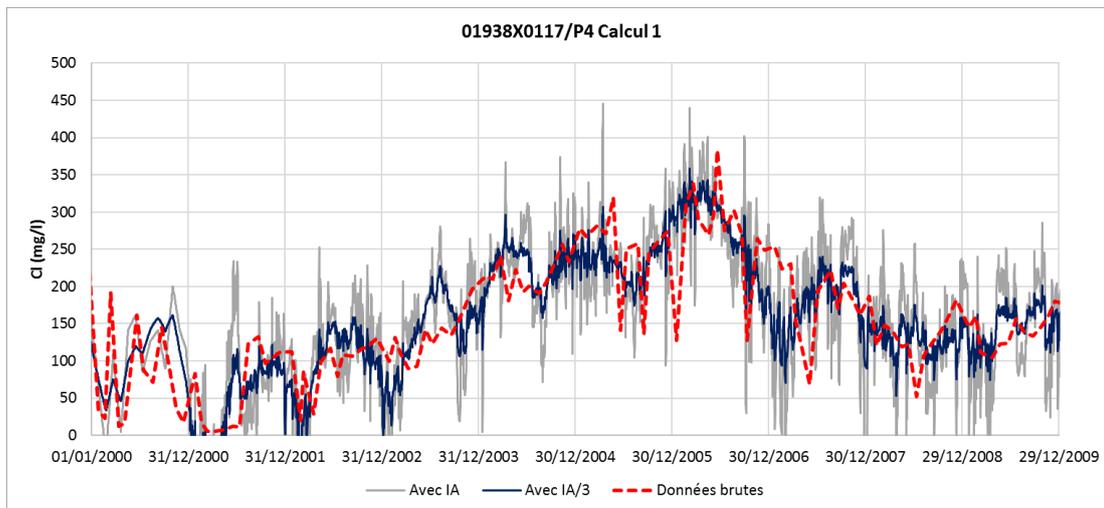


Figure 21 : Chroniques de $[Cl]$ en nappe obtenues pour l'ouvrage 01938X00117 à l'aide du calcul 1 sans lissage (courbe grise) et avec lissage (courbe bleue) en comparaison avec les données brutes interpolées (pointillés rouge), sur la période 2000 – 2009 (inclut les 3 années type)

b) Ouvrages peu influencés par la Moselle (calcul 2)

$$[CI\ ESO]_2 = \text{Pluri-Annuel ESO} + \text{Annuel ESO} + (\text{Infra-Annuel ESU}/n)$$

Comme dans le cas du premier calcul, le signal pluri-annuel utilisé est celui obtenu à partir des données brutes des eaux souterraines, de manière à conserver la tendance observée en nappe à grande échelle de temps. Le signal annuel utilisé, cette fois-ci, est celui des eaux souterraines, dans le but de réduire l'effet d'influence des eaux de la Moselle sur celles de la nappe. La composante infra-annuelle obtenue à partir des données relevées sur la Moselle est utilisée. Elle permet de conserver un signal précis, avec des variations fréquentes de concentrations, difficile à obtenir avec la composante infra-annuelle ESO, du fait du manque de données brutes et d'une fréquence de mesure trop faible. Cette composante a été divisée par le coefficient n pour réduire l'amplitude des variations de $[CI]$, avec $3 < n < 30$ afin de prendre en compte les signaux tamponnés de certains ouvrages ESO (Figure 22).

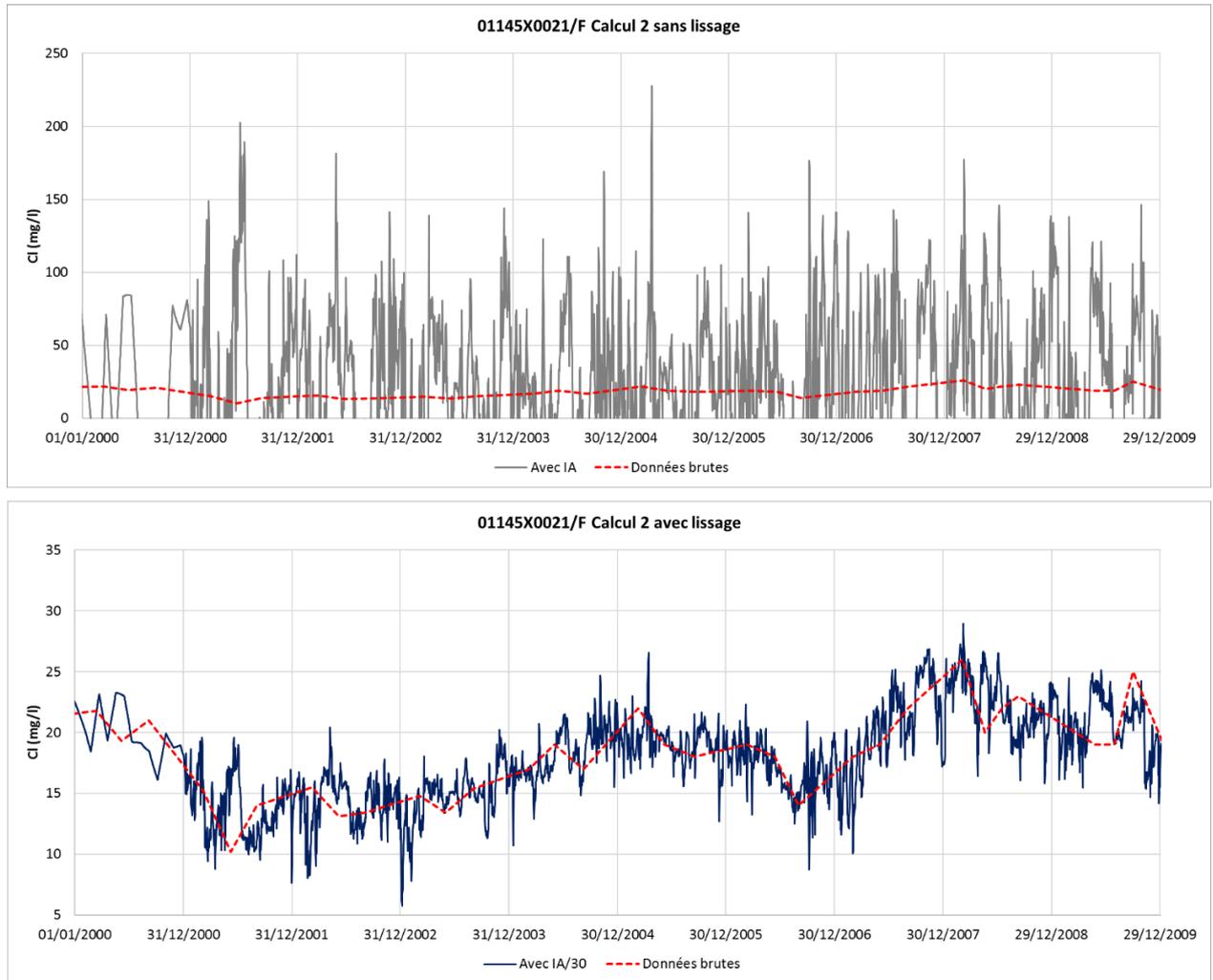


Figure 22 : Chroniques de [Cl] en nappe obtenues pour l'ouvrage 01145X0021 à l'aide du calcul 2 sans lissage (courbe grise en haut) et avec lissage (courbe bleue en bas) en comparaison avec les données brutes interpolées (pointillés rouge), sur la période 2000 – 2009 (inclut les 3 années type)

c) Remarque

Le calcul permettant d'obtenir la chronique la plus adaptée en comparaison avec les données brutes (1 : influence des eaux de la Moselle, 2 : peu/pas d'influence des eaux de la Moselle) n'est pas systématiquement représentatif des groupes de corrélation obtenus en Section 0. Les chroniques de [CI] ESO des ouvrages du groupe A (censés être plus influencés par les eaux de la Moselle) ont été globalement recalculées à partir du Calcul 1, ou du Calcul 2 avec un faible lissage (témoignant de fortes fluctuations infra-annuelles, proches de celles des eaux de la Moselle). Les chroniques de [CI] en nappe des ouvrages du groupe B (moins influencés par les eaux de la Moselle) ont été recalculées dans certains cas à l'aide du Calcul 1 (une grande partie des ouvrages situés entre les confluences Meurthe-Moselle et Rupt de Mad-Moselle, très impactés par les fortes [CI] de la Moselle), ou bien à l'aide du Calcul 2, avec Infra-Annuel ESU/3 (faible lissage, influence de la Moselle plus marquée) jusqu'à Infra-Annuel ESU/30 (concerne le point de mesure 02294X0092 en amont de la confluence Meurthe-Moselle, qui est influencé par la Moselle avant qu'elle ne reçoive les apports en chlorures de la Meurthe, expliquant alors le besoin d'un fort lissage du signal Infra-Annuel ESU obtenu à l'aide des données de la station d'Hauconcourt). Les chroniques de [CI] en nappe des ouvrages du groupe C (pas de lien visible [CI] Moselle – [CI] nappe alluviale) ont été recalculées à partir du Calcul 2, avec Infra-Annuel ESU/5 (faible lissage, ouvrage 01385X0167 à Hauconcourt) jusqu'à Infra-Annuel ESU/30 (fort lissage, pour les ouvrages en aval d'Hauconcourt, où s'observe une diminution progressive des [CI], du Sud vers le Nord).

Pour le secteur 4 (Atton, Blénod lès Pont à Mousson, Cf. Annexe 7, Figure 72), une chronique a été estimée pour les ouvrages de collectes de Blénod lès Pont à Mousson, à partir de la chronique recréée à Atton, en la recalant sur les 19 données brutes de mélange transmises par l'ARS. Le calcul pour obtenir alors la chronique à Blénod est le suivant : $[CI\ ESO]_1 = (Pluri\text{-}Annuel\ ESO/5) + (Annuel\ ESO/5) + (Infra\text{-}Annuel\ ESO/15)$.

4.3.4. Estimation des scénarios futurs

a) Scénarios actuels pour les trois années type

Les scénarios actuels correspondent aux chroniques de [CI] en nappe obtenues à l'aide des calculs 1 et 2 définis en Section 4.3.3 ci-dessus (Figure 76, Figure 77).

- scénario Actuel – Année moyenne : pour chaque ouvrage de collecte, chronique précédemment définie pour l'année 2008 ;
- scénario Actuel – Année sèche, début de période déficitaire : pour chaque ouvrage de collecte, chronique précédemment définie pour l'année 2003 ;
- scénario Actuel – Année sèche, fin de période déficitaire : pour chaque ouvrage de collecte, chronique précédemment définie pour l'année 2005.

b) Évolution du climat d'ici à 2050 (CIPMS, 2013)

D'après les Commissions Internationales pour la Protection de la Moselle et de la Sarre (CIPMS, 2013), les résultats des projections climatiques régionales du modèle CCLM (données fournies par l'Institut de météorologie et de recherche climatique de l'Institut de technologie de Karlsruhe) obtenues pour la période allant de 2021 à 2050, indiquent un avenir globalement plus chaud et des saisons plus contrastées en termes de précipitations (étés plus secs de 0 à -15 % par rapport à la période 1971-2000 ; hiver plus pluvieux de +5 à +20 %).

En termes de débits de la Moselle, au niveau de la station hydrométrique de Metz (au centre de notre zone d'étude), cela engendre :

- pour les débits mensuels moyens : une hausse de 5 à 15% en hiver hydrologique, et une baisse de 5 à 15 % en été hydrologique ;
- pour les débits mensuels moyens d'étiage : une hausse de 5 à 15% en hiver, et une baisse de 5 à 15 % en été ;
- pour les débits mensuels moyens de crues : une hausse de 5 à 15% en hiver, et une baisse supérieure à 15 % en été.

c) Évolution des rejets des soudières

Concernant les rejets, **on considère que l'on est à cadre réglementaire constant à horizon 2050, et que les soudières adaptent leurs rejets pour respecter les concentrations sur la Moselle à Hauconcourt**

d) Scénarios futurs

En lien avec les hypothèses ci-dessus (changement climatique et réglementation), on considère que l'évolution des concentrations dans les ESU sera peu affectée du fait du respect de la réglementation. Par contre, celle des concentrations dans les ESO pourra être influencée par une moindre dilution par les versants suite à une baisse de leur contribution sous changement climatique.

Ainsi, les pics de concentrations élevées sont amplifiés dans le futur en réduisant le lissage des calculs 1 et 2 réalisés précédemment, pour les valeurs du signal Infra-Annuel supérieures à 0 :

$$[CI\ ESO]_1 = \text{Pluri-Annuel-ESO} + \text{Annuel-ESU} + \text{Infra-Annuel-ESU}/n_{(\text{futur})}$$

$$[CI\ ESO]_2 = \text{Pluri-Annuel-ESO} + \text{Annuel-ESO} + \text{Infra-Annuel-ESU}/n_{(\text{futur})}$$

avec :

- $n_{(\text{futur})}=1$ si $n_{(\text{initial})}=3$ et Infra-Annuel > 0 (secteurs 2 et 3, aval du secteur 7(Metz Sud)) ;
- $n_{(\text{futur})}=3$ si $n_{(\text{initial})}=5$ et Infra-Annuel > 0 (secteur 4-Atton, secteur 5, amont du secteur 7 (Maison Rouge), secteur 8 à Hauconcourt) ;
- $n_{(\text{futur})}=n_{(\text{initial})}-5$ si $n_{(\text{initial})}$ compris entre 10 et 30 et Infra-Annuel > 0 (secteur 4-Blénod, secteurs 6, secteur 8 à La Maxe, secteurs 9, 10, 11, 12).

Le détail des calculs et des tendances est fourni en Annexe 7. Les jours où la valeur du signal Infra-Annuel < 0, la [CI] future reste identique à la [CI] estimée pour le scénario actuel (Figure 23).

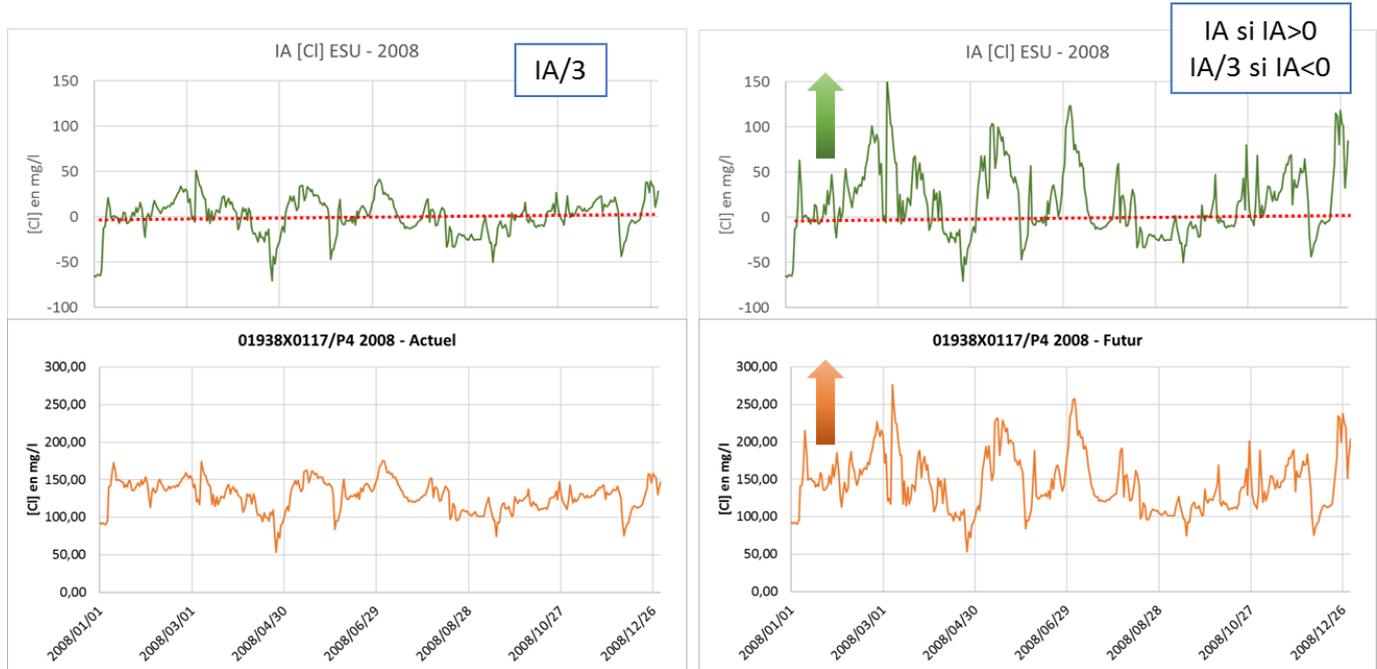


Figure 23 : Passage des chroniques de [Cl] des scénarios actuels aux scénarios futurs : exemple de l'ouvrage 01938X00117 de Loisy (secteur 3) pour l'année moyenne type (2008). En vert, signaux IA seuls. En orange, chroniques de [Cl] reconstituées à partir de l'ensemble des signaux.

Une fois les 16 chroniques calculées en suivant pour chaque ouvrage la tendance future qui lui est définie, les 3 scénarios futurs suivants peuvent être considérés :

- scénario Futur – Année moyenne : pour chaque ouvrage de collecte, amplification des pics de la chronique précédemment définie pour l'année 2008 ;
- scénario Futur – Année sèche, début de période déficitaire : pour chaque ouvrage de collecte, amplification des pics de la chronique précédemment définie pour l'année 2003 ;
- scénario Futur – Année sèche, fin de période déficitaire : pour chaque ouvrage de collecte, amplification des pics de la chronique précédemment définie pour l'année 2005.

Une synthèse est fournie en Annexe 8 (Figure 76, Figure 77, Figure 78) regroupant des informations concernant la sectorisation des points de mesure et des ouvrages de collecte associés, les groupements réalisés suite aux tests de corrélation [Cl] Moselle – [Cl] nappe, ainsi que les calculs utilisés pour réaliser les chroniques journalières de [Cl] actuelles et futures en suivant les tendances définies par observation des données brutes.

Une étude des secteurs où les [Cl] dans la nappe risquent de dépasser le seuil fixé au droit des ouvrages de prélèvement (250mg/l) a été réalisée, en se basant sur les données brutes en [Cl] mesurées sur chaque point de mesure (Box plots en Figure 16, et Annexe 8).

4.4. Synthèse des résultats

4.4.1. Reconstitution des chroniques de [Cl] actuelles et futures

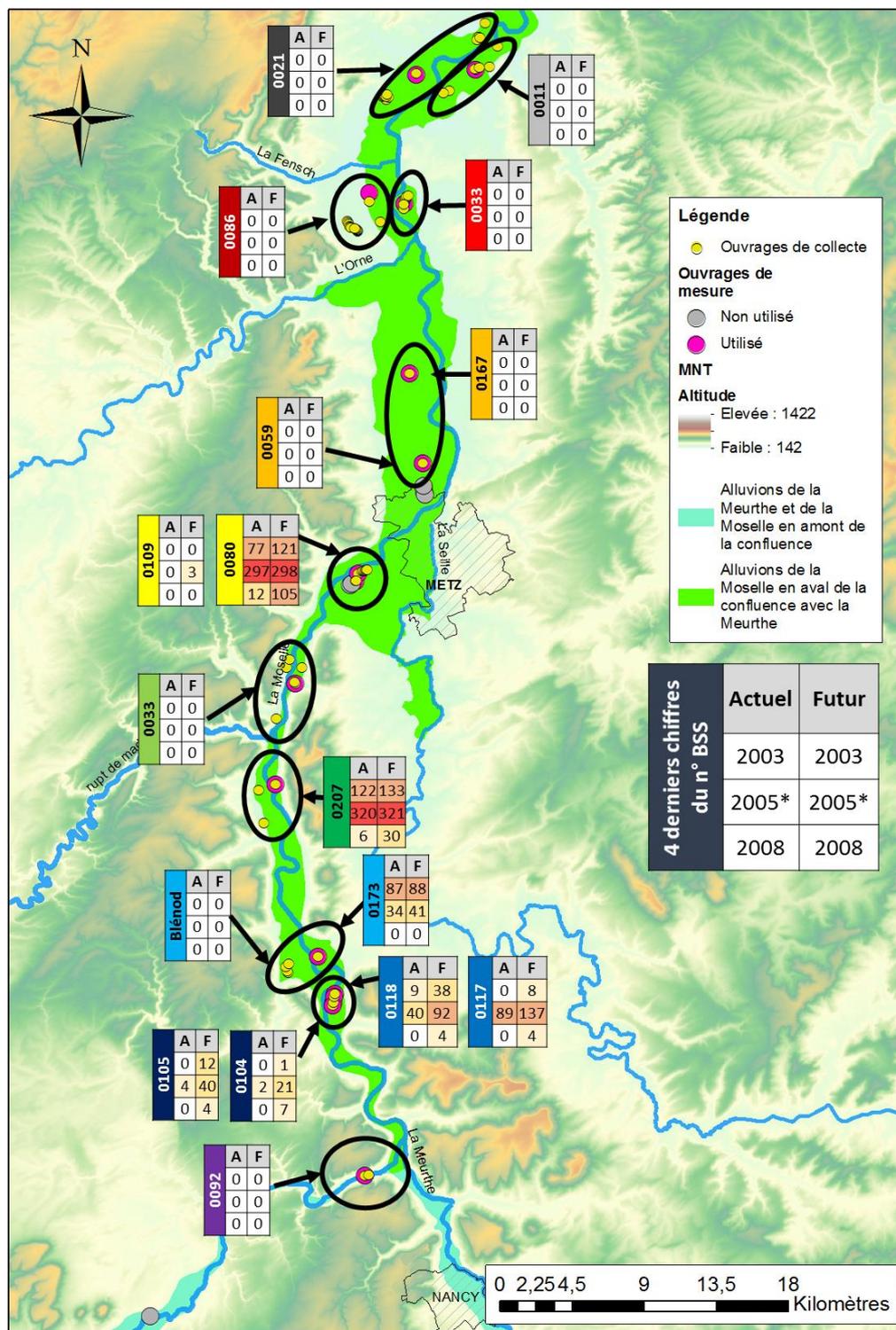


Figure 24 : Carte représentant le nombre de jours de dépassement des 250mg(Cl)/l sur chaque secteur, pour les 3 années type retenues (*2011 pour le 0207, secteur 5). 2003 : année « sèche », 2005 : année « sèche + », 2008 : année « moyenne ».

Dans le but de visualiser et comparer les dynamiques d'évolution des [Cl] ESO pour les 3 années types conservées, pour l'ensemble des secteurs définis, le nombre de jours de dépassement du seuil de 250mg(Cl)/l actuel et futur pour chaque année type et chaque secteur a été calculé, et est récapitulé en Figure 24. Il peut dans un premier temps être remarqué que le nombre de jours de dépassement augmente de manière générale sur l'ensemble des sites en passant des scénarios actuels aux scénarios futurs. Sur les secteurs à faibles [Cl] actuelles, aucun dépassement n'est relevé dans le cas des scénarios futurs : il s'agit des secteurs 1 (avant la confluence Meurthe-Moselle, le plus au Sud), 4 (Blénod uniquement), 6 (directement après la confluence Rupt de Mad-Moselle), 8 (La Maxe, Hauconcourt), 9 et 10 (après la confluence Orne-Moselle), 11 et 12 (après la confluence Fensch-Moselle, les plus au Nord).

4.4.2. Incertitudes sur les chroniques reconstituées

L'incertitude inhérente aux chroniques de concentration en chlorures journalières reconstituées à partir d'observations à faible fréquence va se répercuter sur l'incertitude associée aux résultats du modèle du schéma AEP qui se base sur ces chroniques.

Afin de prendre en compte cette incertitude, les scénarios de concentrations en chlorures à l'horizon 2050 seront déclinés en plusieurs variantes. Les chroniques reconstituées en suivant la méthodologie décrite précédemment seront qualifiées de variante « probable ». Pour prendre en compte l'incertitude, on simulera également une variante plus pessimiste et une variante plus optimiste, encadrant la variante dite plus probable. Les résultats du modèle consisteront alors en un intervalle, prenant en compte l'incertitude existant sur la reconstitution des chroniques de [Cl].

Dans le but de produire les variantes « pessimiste » et « optimiste » des chroniques de concentrations, une quantification de l'impact de l'incertitude sur les valeurs de concentrations en chlorures a été réalisée via une étude statistique, présentée en détails en Annexe 9. La synthèse de cette étude est présentée Figure 25. Pour chacune des trois années type, elle indique quelle est la variabilité des valeurs de concentrations journalières reconstituées qui est associée à la faible fréquence des observations disponibles. En ce qui concerne la concentration moyenne au niveau de l'ouvrage pour lequel l'analyse a été réalisée, la variabilité liée à l'incertitude (mesurée par l'écart à la moyenne en pourcentage – chiffres en gras) s'élève à environ +/-15 à 20 % pour l'année 2008, +/-10 % pour l'année 2003 et +/-25 à 30 % pour l'année 2005.

Variabilité de la concentration moyenne associée à l'incertitude pour l'ouvrage étudié					
Année type	Moyenne (mg/l)	Min (mg/l)	Max (mg/l)	Écart Min-Moy (%)	Écart Max-Moy (%)
2008	118,51	97,88	142,49	-17,41	20,23
2003	105,96	97,29	115,61	-8,19	9,11
2005	208,78	157,66	270,89	-24,48	29,75

Figure 25 : Résultats des analyses statistiques menées sur les trois années types – synthèse des données des Figure 86, Figure 87, et Figure 88 en Annexe.

Ces résultats permettent de quantifier l'incertitude à appliquer aux chroniques reconstituées pour établir les variantes optimistes et pessimistes des scénarios de concentration. À titre d'exemple, la Figure 26 illustre un intervalle de +/-15 % autour du scénario probable, ce qui pour l'ouvrage concerné engendre un intervalle de +/-25mg(Cl)/l environ. Dans ce cas précis, aucun dépassement du seuil à 250 mg/L n'est envisagé même en tenant compte de l'incertitude.

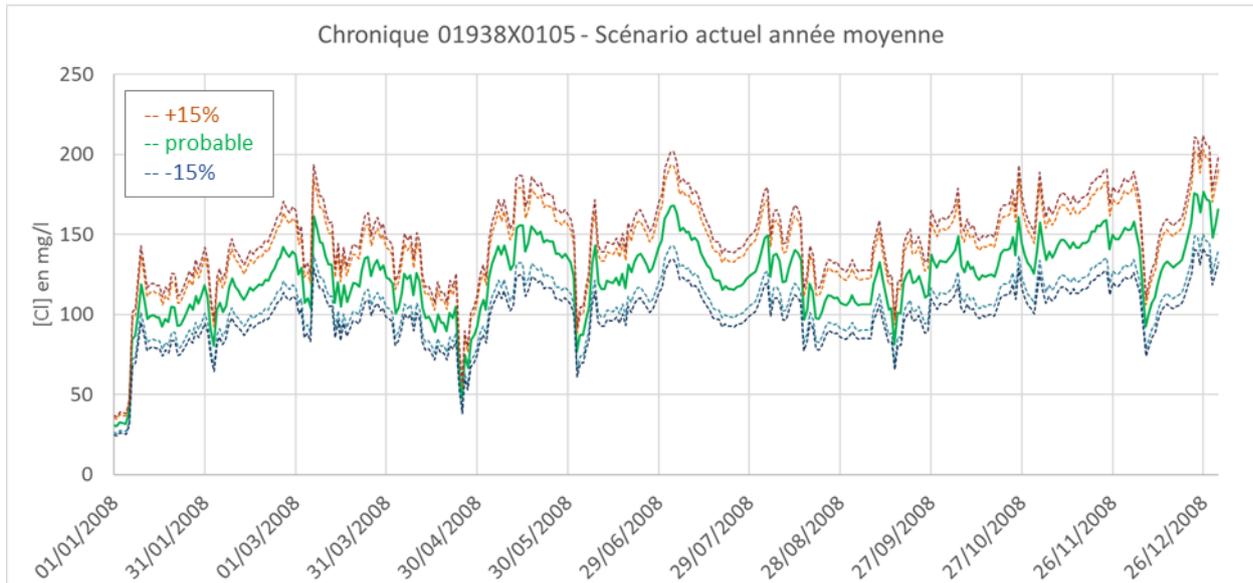


Figure 26 : Exemple d'incertitude appliquée aux chroniques reconstituées pour établir les scénarios

5. Caractérisation des scénarios à horizon 2050

Trois grands types de scénarios futurs ont été élaborés en vue d'être simulés à l'aide du modèle :

- scénarios d'évolution des besoins en eau ;
- scénarios d'évolution des concentrations en chlorures sous changement climatique (Cf. § 4) ;
- scénarios de crise.

Ces scénarios permettent de rendre compte des principaux enjeux susceptibles d'impacter l'alimentation en eau potable sur le territoire d'étude à horizon 2050 dans le cadre de la problématique chlorures.

Il convient de noter que les éventuelles évolutions des infrastructures AEP à horizon 2050 ne sont pas considérées. Les infrastructures considérées (ouvrages de prélèvement, stations de traitement et canalisations) sont les infrastructures de l'année 2015. La seule infrastructure additionnelle considérée est la nouvelle prise d'eau sur la Meurthe prévue pour alimenter l'UGE du Grand Nancy (actuellement en projet). De la même façon, les imports et exports d'eau depuis et vers l'extérieur du périmètre d'étude sont considérés comme stables.

5.1. Scénarios d'évolution des besoins en eau

L'évolution des besoins en eau à horizon 2050 résulte de deux facteurs : l'évolution de la demande en eau et l'évolution du rendement des réseaux.

5.1.1. Scénarios d'évolution de la demande

Trois scénarios de prospective territoriale ont été élaborés par les acteurs locaux lors d'un atelier d'une journée organisé en Novembre 2016 à Metz. Ces scénarios présentent des visions volontairement contrastées de l'évolution possible du territoire à horizon 2050 et constituent la base à partir de laquelle l'évolution de la demande en eau a été quantifiée.

La méthode de construction des scénarios est décrite en Annexe 10. Les sections suivantes décrivent pour chaque scénario à horizon 2050 :

- le scénario de contexte national ;
- la déclinaison locale du scénario ;
- l'impact sur la croissance démographique ;
- l'impact sur la demande en eau.

a) Scénario « Libéralisation subie et déclin »

Contexte national

La libéralisation des marchés en cours en Europe depuis la seconde moitié du XX^{ème} siècle se poursuit et les échanges internationaux de biens et de services s'intensifient. La compétitivité française du secteur industriel est mauvaise. Le modèle dominant de l'individualisme économique réduit l'État à un rôle de garant des libertés individuelles dont les interventions dans la gestion des activités économiques sont fortement restreintes. Les individus se désengagent peu à peu de la gestion des affaires publiques.

Avec une population mondiale atteignant plus de 9 milliards d'habitants en 2050 (contre 7 milliards en 2012), les tensions s'accroissent sur la demande en produits agricoles pour l'alimentation humaine et animale. En Europe, la Politique Agricole Commune décline à partir de 2020 puis disparaît progressivement. Les secteurs agricoles et sylvicoles subissent alors directement les aléas et contraintes des marchés mondiaux car les filières locales sont peu structurées ce qui tend à accentuer la volatilité des prix agricoles pour les agriculteurs déjà fortement confrontés aux variations conjoncturelles induites par la concurrence internationale et notamment la variation des stocks mondiaux liés aux événements climatiques régionaux. Dans ce contexte, l'agriculture s'industrialise. En l'absence d'accord international contraignant, les négociations sur le climat sont interrompues. La gestion des milieux, dont l'état s'est progressivement désengagé, répond dorénavant aux préoccupations économiques du secteur privé, peu enclin à entretenir les espaces naturels en l'absence d'enjeux économiques forts sur le court-terme.

La société dépend quant à elle toujours fortement des énergies fossiles dont les prix fluctuent au gré de l'évolution du contexte géopolitique mondial. En 2050 plus d'un tiers de la population française est âgée de plus de 65 ans (contre 18 % aujourd'hui). Ce vieillissement de la population remet en cause le système de retraites par répartition qui disparaît progressivement au profit d'un système par capitalisation. Le pouvoir d'achat de nombreux retraités de la classe moyenne se réduit. Parallèlement, l'approvisionnement des ménages dans les grandes surfaces est en augmentation. La maîtrise des coûts est privilégiée, au détriment du commerce de détail, de la qualité des produits et de l'émergence de circuits courts.

Déclinaison territoriale

Le déclin de la sidérurgie et l'ouverture du marché européen à des pays offrant des conditions de travail à bas coûts, notamment la Chine, entraînent une disparition progressive des activités industrielles dans le sillon Mosellan. Seule l'industrie automobile résiste grâce à l'accroissement de la demande sur le territoire français et européen. Face à la concurrence étrangère, l'activité des soudières décroît à partir de 2025. L'emploi industriel continue son déclin, entraînant avec lui une large gamme d'emplois indirects. Quelques industries de haute-technologie perdurent mais leur contenu en emploi demeure faible. Les pays limitrophes, dont le modèle de développement économique a mieux su tirer parti de l'ouverture des marchés, attirent les plateformes logistiques et les pôles de compétitivité. Le Luxembourg attire notamment toujours de nombreux travailleurs français dans le secteur des services. L'Allemagne propose quant à elle de nombreuses formations techniques en apprentissage qui séduisent une population estudiantine de plus en plus mobile et difficile à faire revenir en France.

Autour des villes, l'étalement urbain se poursuit dans un premier temps, les ménages les plus aisés cherchant à acquérir des logements neufs sur le modèle pavillonnaire avec grand jardin et piscine. Ce phénomène est particulièrement prégnant dans les zones frontalières. La société dépend fortement de la voiture individuelle. En conséquence, les grands axes routiers sont fréquemment saturés malgré les travaux de modernisation réalisés sur l'autoroute A31 entre 2020 et 2025. Inévitablement, l'attractivité du territoire décline, surtout dans les communes éloignées des frontières et situées en dehors de la Métropole du Grand Nancy. Cette dernière a néanmoins mieux résisté à la libéralisation que les agglomérations situées dans le nord du secteur d'étude, notamment parce qu'elle dépend historiquement moins de l'industrie et est davantage tournée vers le tertiaire et la recherche.

À partir de 2030, l'augmentation du chômage et le vieillissement de la population inscrivent le territoire dans la spirale du déclin démographique. Le solde migratoire est durablement négatif bien que le territoire accueille de nombreux migrants politiques et climatiques. L'activité économique se concentre aux abords des grandes agglomérations, délaissant les zones rurales qui se désertifient progressivement. Le secteur agricole se structure autour de quelques grandes exploitations industrielles qui pratiquent l'agriculture intensive. L'élevage disparaît dès 2030 au profit de grandes cultures fortement consommatrices de produits phytosanitaires.

Impact sur la croissance démographique

Département	Évolution 2015 - 2050	Remarques
Meurthe-et-Moselle	-5 %	Spirale du déclin démographique. Poursuite des tendances récentes.
Moselle	-1 %	Spirale du déclin démographique. Poursuite des tendances récentes.

Tableau 4 : Evolution démographique associée au scénario Libéralisation subie et déclin

Synthèse sur l'évolution de la demande en eau sur le secteur d'étude

Usages	Évolution 2015 - 2050	Remarques
Demande individuelle domestique et assimilée	-7 % (demande unitaire, m ³ /habitant)	Étalement urbain et absence de conscience environnementale jusqu'en 2030, d'où une relative stabilité malgré la tendance à la baisse des consommations individuelles.
Demande industrielle	-21 % (demande totale, m ³)	Chute de l'activité industrielle à partir de 2030.
Demande agricole	+11 %	Intensification de l'agriculture

Tableau 5 : Evolution des demandes en eau associée au scénario Libéralisation subie et déclin

b) Scénario « Dynamiques régionales et développement local »

Contexte national

Face à la dégradation continue des finances publiques, l'État se désengage peu à peu de la sphère économique et transfère de nombreuses compétences aux régions dont l'autonomie s'accroît. Les politiques publiques sont désormais territorialisées et visent à assurer le développement économique des territoires en s'appuyant sur un marketing territorial volontariste. Les politiques économiques se renforcent autour du soutien aux atouts préexistants des territoires dont la société cherche à tirer un revenu maximal. Face à l'augmentation de la demande d'énergie dans les pays émergents, les prix des énergies fossiles augmentent considérablement jusqu'en 2030. La Politique Agricole Commune, dont des budgets de plus en plus importants sont directement gérés par les régions, est réorientée selon les politiques régionales qui sont très différentes d'une région à l'autre (soutien au verdissement, valorisation d'avantages compétitifs, etc.). Certaines régions aspirent désormais à l'autonomie énergétique et alimentaire, d'autres maintiennent leur vocation exportatrice.

Les échanges internationaux se stabilisent autour de 2030. Ce « repli régional » préserve la production française de la concurrence internationale. Des filières locales se structurent de façon à exploiter les nouvelles synergies à l'échelle des territoires. Les politiques climatiques et environnementales sont peu ambitieuses. Néanmoins, l'accroissement du coût des transports incite progressivement les ménages à modifier leurs comportements de consommation, et notamment à « consommer local ». Face à l'augmentation du prix des produits agricoles sur les marchés mondiaux, les circuits courts et la demande pour des produits de terroirs se développent rapidement en France. Le pouvoir d'achat des classes-moyennes décline et le nombre de citadins augmente. Les espaces naturels sont peu à peu sanctuarisés, notamment en périphérie des villes, pour satisfaire les besoins de naturalité des citadins et des retraités.

Déclinaison territoriale

La volonté de la région Grand Est de stimuler un développement local basé sur les atouts préexistants des territoires incite le sillon Mosellan à poursuivre la modernisation de son secteur industriel (acier, textile, soudières) avec des plans d'investissements majeurs. De nouveaux partenariats se développent entre les entreprises et les universités dont la renommée et le pragmatisme attirent de nombreux étudiants, surtout autour de la Métropole du Grand Nancy. Aidées par la région qui favorise la création de pôles de compétitivité autour du numérique et de la santé, de nouvelles entreprises labellisées French Tech s'installent sur le territoire qui aspire à devenir la *Silicon Valley* du Grand Est. Devenue dès 2030 un véritable territoire polycentrique européen, la région est à même de pratiquer une politique d'immigration sélective de populations jeunes et qualifiées. L'offre touristique se diversifie en ville. A la campagne, les anciens bassins miniers valorisent le patrimoine industriel passé pour créer une nouvelle offre touristique. Les infrastructures et les hébergements se développent en vue d'inciter les touristes à visiter le territoire. Ce regain d'attractivité freine le déclin de la population qui se stabilise à partir de 2030.

Les efforts des collectivités territoriales pour réhabiliter les centres bourgs et réduire la consommation d'espace ne suffisent pas à enrayer la tendance à la périurbanisation soutenue par la tendance généralisée au télétravail dans certaines professions. Les transports multimodaux se développent pour les déplacements individuels (train, vélo, autopartage) mais la voiture demeure le moyen de transport le plus utilisé. La multi-modalité (rail-fleuve notamment) n'est pas mise en œuvre pour le transport de marchandises dans la mesure où les échanges internationaux sont nettement réduits. L'agriculture évolue quant à elle relativement peu, mais réinvestit quelques productions régionales emblématiques telles que la mirabelle et la viticulture, en synergie avec le développement touristique. Les groupements agricoles d'exploitation en commun se multiplient et, pour certains, pratiquent une agriculture raisonnée avec des débouchés locaux via les circuits courts.

Impact sur la croissance démographique

Département	Évolution 2015 - 2050	Remarques
Meurthe-et-Moselle	+1 %	Poursuite des tendances passées jusqu'en 2030 puis regain d'attractivité du territoire et immigration. Croissance supérieure aux projections du modèle Omphale de l'INSEE à partir de 2030.
Moselle	+0 %	Poursuite des tendances passées jusqu'en 2030 puis regain d'attractivité du territoire et immigration. Croissance supérieure aux projections du modèle Omphale de l'INSEE à partir de 2030.

Tableau 6 : Evolution démographique associée au scénario Dynamiques régionales et développement local

Synthèse sur l'évolution de la demande en eau sur le secteur d'étude

Usages	Évolution 2015 - 2050	Remarques
Demande domestique et assimilée	-11 % (demande unitaire, m ³ /habitant)	Étalement urbain jusqu'en 2030, puis densification et progrès technologiques.
Demande industrielle	26 % (demande totale, m ³)	Réindustrialisation du tissu économique productif
Demande agricole	0 %	Stabilité

Tableau 7 : Evolution des demandes en eau associée au scénario Dynamiques régionales et développement local

c) Scénario « Environnement et qualité de vie »

Contexte national

La succession de catastrophes naturelles (inondations, canicules, etc.) et la forte médiatisation de la problématique climatique suite à l'accord de Paris, modifient profondément la vision consumériste de la société qui aspire à plus d'équité sociale et de bien-être. La montée des préoccupations environnementales impacte – via la demande – les modes de production. Les marchés intègrent progressivement la composante carbone suite à la mise en œuvre d'une taxe carbone mondiale en 2022. Cette taxe a pour conséquence de renchérir les énergies fossiles et les produits importés. La coopération en la matière entre les États s'intensifie. D'importants investissements publics sont réalisés pour la recherche et le développement de technologies vertes et sobres en émissions de gaz à effet de serre. Les énergies renouvelables se développent en Europe, notamment grâce au verdissement de la Politique Agricole Commune qui favorise la mise en place et le maintien de systèmes de production compatibles avec la préservation de l'environnement dont la société a pris conscience de la valeur patrimoniale et environnementale (maintien de la biodiversité, entretien des paysages, production d'aliments à forte valeur ajoutée pour la santé). Les espaces naturels sont protégés tandis que dans les villes, la densification urbaine se généralise grâce à une perception du confort renouvelée (service de proximité, abandon de la voiture, cohésion sociale) et un urbanisme ambitieux (jardins partagés, architecture flatteuse, etc.). Facilitée par le développement des nouvelles technologies de la communication (télétravail, etc.), la migration des péri-urbains pouvant télétravailler vers les campagnes est encouragée par l'État. Globalement plus « éco-responsables », une grande partie des consommateurs s'oriente vers des produits locaux et de saison, les labels de qualité et l'agriculture biologique.

Déclinaison territoriale

Le renchérissement des importations et les investissements dans les technologies vertes améliorent la rentabilité des soudières qui bénéficient dès 2035 de nouvelles avancées technologiques leur permettant de réduire leurs impacts environnementaux (chlorures, consommations énergétiques) et améliorer leur compétitivité. Si leurs activités se maintiennent à leur niveau actuel, la réglementation contraint toutefois leur développement sur le long terme. Le secteur automobile s'oriente quant à lui vers la construction de moteurs électriques qui deviennent le nouveau fleuron de l'industrie mosellane. Leurs ventes augmentent notamment grâce aux aides d'État financées par la taxe sur le transport routier de marchandises mises en place dans le Grand Est à partir de 2020. Les emplois verts se multiplient, tirés notamment par des microentreprises qui proposent des services innovants (entretien des rivières, éducation au développement durable en entreprise, etc.). Ce nouveau dynamisme impulsé par l'économie verte permet à la population de se stabiliser à partir de 2030. Les politiques de rénovation et de densification urbaines favorisent la création d'éco-quartiers sur les anciennes friches et l'installation de nouveaux habitants dans les territoires ruraux qui se désenclavent progressivement. Les transports en commun se développent autour de l'intermodalité et les espaces de co-working se généralisent ce qui permet de réduire les distances domicile-travail. Le fret intra-européen est également verdi avec le développement de plateformes multimodales rail-route-fleuve autour de Metz et Illange. Conscients de la raréfaction des ressources en eau, les consommateurs réduisent leurs besoins unitaires d'eau potable et n'hésitent pas à réutiliser l'eau de pluie ou à installer des toilettes sèches dans leurs habitats.

Le verdissement de la Politique Agricole Commune permet le maintien du tissu agricole en place sur le territoire mais les pratiques évoluent vers des modèles moins intensifs, notamment grâce à l'agriculture de précision. La production agricole de qualité, notamment l'agriculture urbaine, trouve aisément des débouchés locaux, via des circuits courts, fortement plébiscités par les citoyens. La production d'énergies renouvelables (bois-énergie, éolien, hydrogène des bassins miniers et méthanisation) augmente du fait de l'effet cumulé de l'augmentation du prix du pétrole (taxe carbone) et du renforcement des aides publiques aux énergies bas carbone. Enfin, l'intérêt grandissant pour la recharge artificielle offre de nouvelles perspectives économiques à la réutilisation des eaux usées urbaines.

Impact sur la croissance démographique

Département	Évolution 2015 - 2050	Remarques
Meurthe-et-Moselle	-2 %	Poursuite des tendances passées jusqu'en 2030 et stabilisation de la population à partir de 2030.
Moselle	-1 %	Poursuite des tendances passées jusqu'en 2030 et stabilisation de la population à partir de 2030.

Tableau 8 : Evolution démographique associée au scénario Environnement et qualité de vie

Synthèse sur l'évolution de la demande en eau sur le secteur d'étude

Usages	Évolution 2015 - 2050	Remarques
Demande domestique et assimilée	-22 % (demande unitaire, m ³ /habitant)	Économies d'eau et baisse des consommations unitaires.
Demande industrielle	0 %	Croissance de l'activité des soudières compensée par une transformation du tissu économique, développement de nouvelles industries économes en eau.
Demande agricole	+0,525 m ³ /habitant ¹⁰	Développement du maraîchage et évolution de l'agriculture vers des modèles moins intensifs, notamment grâce à l'agriculture de précision.

Tableau 9 : Evolution des demandes en eau associée au scénario Environnement et qualité de vie

¹⁰ Les hypothèses suivantes ont été utilisées : (i) Consommation moyenne des jardins collectifs en France : 0,15 m³/m² (Fédération Nationale des Jardins Familiaux et Collectifs, 2007) ; (ii) Surface cultivée pour atteindre l'autosuffisance alimentaire : 70 m²/hab ; (iii) Part de la population ayant atteint l'autosuffisance alimentaire : 5%.

d) Synthèse

Le Tableau 10 et la Figure 27 résument l'évolution de la demande en eau à horizon 2050 pour chaque scénario. Les trois scénarios se caractérisent par une diminution de la demande en eau à horizon 2050 par rapport à la situation de référence de 2015.

	Scénarios à horizon 2050			
	2015	Libéralisation subie et déclin	Dynamiques régionales et développement local	Environnement et qualité de vie
Demande en eau potable (m³/an)				
Domestique et Assimilé	40 631 787	36 718 588	36 321 979	31 260 279
Industrielle	1 889 506	1 485 110	2 376 344	1 889 506
Agricole	8 174	9 032	8 174	426 665
Volume consommé sans comptage	325 349	325 349	325 349	325 349
Volume de service	1 258 166	1 258 166	1 258 166	1 258 166
Volume consommé autorisé sur 365 jours¹¹	44 112 983	39 796 245	40 290 012	35 159 966
Évolution entre 2015 et 2050		-10%	-9%	-20%
Population				
Nombre d'habitants desservis	812 030	785 579	808 302	797 126
Évolution entre 2015 et 2050		-3,3%	-0,5%	-1,8%

Tableau 10 : Synthèse des scénarios de prospective sur la demande en eau

¹¹ Les volumes consommés sans comptage et les volumes de services sont supposés constants entre 2015 et 2050.

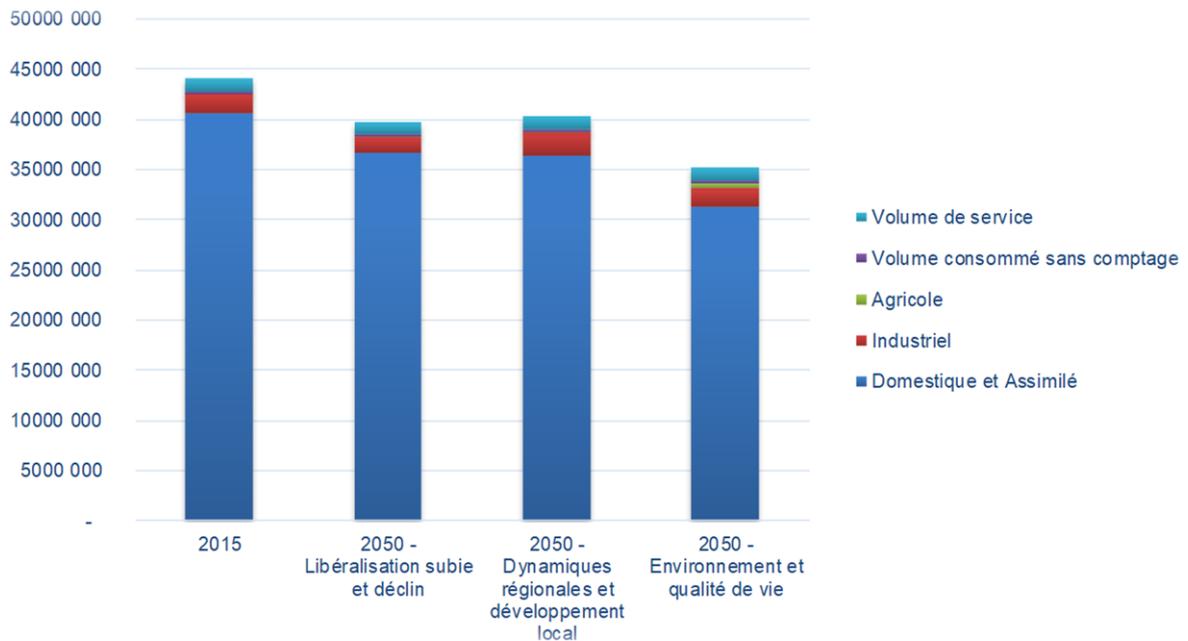


Figure 27 : Demande en eau potable en 2015 et 2050, par scénario (m³/an)

La demande domestique et assimilée constitue l'essentiel de la demande en eau potable (plus de 90 % en 2015). Elle constitue donc la composante principale de l'évolution de la demande à horizon 2050. Son évolution résulte de deux facteurs : d'une part l'évolution de la démographie (- 0,5 à - 3,3 % selon les scénarios), et d'autre part l'évolution des ratios de consommation individuelle par habitant (- 7 à -22 % selon les scénarios), qui constitue ainsi le facteur principal de changement.

Étant donné que les scénarios « Libéralisation subie et déclin » et « Dynamiques régionales et développement local » donnent des résultats assez proches en termes de demande en eau potable, il a été décidé de procéder aux simulations à horizon 2050 uniquement pour les deux scénarios les plus contrastés en termes de demande en eau, c'est-à-dire les scénarios :

- dynamiques régionales et développement local (- 9 % de demande en eau potable par rapport à 2015), noté « **Développement** » ;
- environnement et qualité de vie (- 20 %), noté « **Environnement** ».

Ces deux scénarios présentent des évolutions démographiques légèrement différentes (- 0,5 et - 1,8 %), et des évolutions du ratio de consommation domestique par habitant fortement différentes : - 11 % dans le scénario « Développement », contre - 22 % dans le scénario « Environnement » sous l'effet de politiques ambitieuses de diminution de la consommation domestique.

5.1.2. Scénarios d'évolution des rendements des réseaux

Le rendement des réseaux est défini comme la somme des volumes consommés et exportés, divisée par la somme des volumes produits et importés. Le rendement moyen sur le périmètre d'étude était de 80% pour l'année 2015 (moyenne pondérée par le volume consommé autorisé).

Deux scénarios d'évolution des rendements à horizon 2050 sont considérés :

- **rendement grenelle supérieur** : toutes les UGE sont supposées atteindre l'objectif de rendement Grenelle¹² fixé à 85% à horizon 2050. Le rendement moyen sur le périmètre d'étude atteint donc 85 % en 2050 dans ce scénario.
- **rendement Grenelle inférieur** : les rendements se stabilisent à hauteur de 65 % + 0,2 x Indice Linéaire de Consommation, soit la borne inférieure prévue par la loi Grenelle. Le rendement moyen sur le périmètre d'étude est de 72 % dans ce scénario, soit une détérioration par rapport à la situation de 2015.

Les valeurs de rendement correspondantes pour les différentes UGE (hors syndicats de production) sont présentées dans le Tableau 11.

¹² Décret n° 2012-97 du 27 janvier 2012 relatif à la définition d'un descriptif détaillé des réseaux des services publics de l'eau et de l'assainissement et d'un plan d'actions pour la réduction des pertes d'eau du réseau de distribution d'eau potable.

Collectivité	Rendement 2015	Rendement « Grenelle inférieur »	Rendement « Grenelle supérieur »
MÉTROPOLE DU GRAND NANCY	0,84	0,74	0,85
METZ	0,81	0,75	0,85
SE DE GRAVELOTTTE ET DE LA VALLÉE DE L'ORNE	0,76	0,69	0,85
MONTIGNY-LÈS-METZ	0,66	0,70	0,85
S.I.E.A. DE FLORANGE ET SERÉMANGE-ERZANGE	0,77	0,71	0,85
SIDEET de L'EST THIONVILLOIS	0,69	0,67	0,85
SYNDICAT DES EAUX DE VERNY	0,80	0,66	0,85
YUTZ	0,81	0,70	0,85
FAMECK	0,71	0,70	0,85
SIEA DE GUÉNANGE	0,80	0,68	0,85
SME de SEILLE et MOSELLE	0,76	0,67	0,85
S.E. DU SILLON DE L'EST MESSIN	0,87	0,68	0,85
SEA du Bassin de POMPEY / FROUARD	0,83	0,79	0,85
HAGONDANGE	0,88	0,70	0,85
UCKANGE	0,76	0,70	0,85
PAGNY-SUR-MOSELLE	0,68	0,68	0,85
CUSTINES	0,70	0,69	0,85
SIE ATTON	0,80	0,67	0,85
CORNY-SUR-MOSELLE	0,78	0,69	0,85
JOUY-AUX-ARCHES	0,80	0,71	0,85
NOVÉANT-SUR-MOSELLE	0,68	0,68	0,85
ROZÉRIEULLES	0,65	0,68	0,85
MARBACHE	0,83	0,67	0,85
FAULX	0,82	0,70	0,85
MAXE (LA)	0,95	0,68	0,85
MALLELOY	0,82	0,68	0,85
VANDIÈRES	0,95	0,69	0,85
ARRY	0,75	0,67	0,85
MILLERY	0,75	0,70	0,85
MARIEULLES	0,92	0,68	0,85
FEY	0,94	0,67	0,85
LOISY	0,91	0,69	0,85
SYNDICAT DES EAUX DE CATTENOM	0,90	0,68	0,85
BLÉNOD-LÈS-PONT-À-MOUSSON	0,97	0,68	0,85
THIONVILLE	0,77	0,71	0,85
POMPEY	0,86	0,73	0,85
MOYENNE	0,80	0,72	0,85

Tableau 11 : Rendements des réseaux dans les différentes UGE en 2015 et à horizon 2050

5.2. Scénarios de concentrations en chlorures dans les alluvions sous changement climatique

Les données disponibles ne sont pas suffisantes pour modéliser la dynamique des rejets des soudières et leur impact sur les concentrations en chlorures en eaux souterraines. Il est donc uniquement possible de simuler des scénarios où le cadre réglementaire et la modulation des rejets restent inchangés (i.e. respect du seuil de concentration en eau superficielle à Hauconcourt).

Comme présenté dans la section Analyse hydrologique et hydrogéologique (section 4), différents scénarios d'évolution des concentrations en chlorures dans les alluvions ont été construits pour prendre en compte l'impact du changement climatique.

Tout d'abord, trois scénarios climatiques à horizon 2050 ont été construits, correspondant à trois années hydrologiques type :

- année moyenne ;
- année sèche en début de période sèche ;
- année sèche en fin de période sèche.

Chacun de ces scénarios est décliné en trois variantes, afin de prendre en compte l'incertitude associée à la faible fréquence des données de concentrations en chlorures en eaux souterraines :

- variante probable (concentrations en chlorures reconstituées en suivant la méthodologie développée) ;
- variante optimiste (- 15 %) ;
- variante pessimiste (+ 15 %).

Pour la cartographie des résultats de l'étude (Section 1), les pictogrammes du Tableau 12 seront utilisés pour notifier le scénario de concentrations en chlorures sous changement climatique considéré.

Pictogramme	Signification
Année moyenne	Année hydrologique moyenne
Année sèche	Année hydrologique sèche, survenant en début de période sèche
Année sèche +	Année hydrologique sèche, survenant en fin de période sèche
Probable	Variante probable de l'année hydrologique donnée
Optimiste	Variante optimiste de l'année hydrologique donnée
Pessimiste	Variante pessimiste de l'année hydrologique donnée

Tableau 12 : Pictogrammes représentant les trois scénarios climatiques simulés, ainsi que leurs variantes prenant en compte l'incertitude

La présente étude étant centrée sur la problématique chlorures, **les autres ressources en eau sollicitées sur le territoire** (Moselle, Bassin ferrifère lorrain, Barrage d'Arnaville, Calcaires du Dogger des côtes de la Moselle, Plateau Lorrain versant Rhin) **ne font pas l'objet de scénarios de changement climatique.**

5.3. Scénarios de crise

Les scénarios de crise représentent les principaux points critiques à même de générer un dysfonctionnement ou une interruption du système d'alimentation en eau potable. Ils ont été co-construits par les acteurs locaux lors d'un atelier organisé en Novembre 2017 à Metz. L'objectif de cet atelier était de mobiliser la connaissance fine des réseaux et des systèmes de production dont disposent les membres du Groupe de Travail pour construire des scénarios cohérents et représentatifs des préoccupations des acteurs locaux.

Quatre grands types d'évènements susceptibles d'affecter l'approvisionnement en eau potable à horizon 2050 ont été distingués :

- les dysfonctionnements techniques occasionnant des ruptures quantitatives (rupture de canalisations d'adduction, dysfonctionnement des installations de production, etc.), appelés ici par convention « **scénarios de rupture de canalisation** » ;
- les pollutions à l'origine de ruptures qualitatives (pollution accidentelle sans possibilité de traitement adéquat, dysfonctionnement du traitement, entrée de matière polluantes dans le réseau, etc.), appelées ici par convention « **scénarios de pollution de surface** » ;
- les actes de malveillance occasionnant des ruptures aussi bien qualitatives que quantitatives (intrusions, coupures d'électricité volontaires, etc.), appelés « **scénarios actes de malveillance** » ;
- les inondations à l'origine de ruptures qualitatives ou quantitatives, intitulées « **scénarios inondations** ».

La méthode de construction des scénarios de crise est décrite en Annexe 11. Quatre scénarios notés comme prioritaires par le Groupe de Travail ont été plus finement caractérisés. Deux de ces scénarios ont finalement été retenus par le Comité de Pilotage de l'étude pour être simulés avec le modèle, de par l'ampleur de leurs impacts attendus sur le périmètre d'étude, et sont présentés ci-dessous. Les deux scénarios non retenus sont consultables en Annexe 11.

5.3.1. Scénario de rupture de canalisation entre la prise d'eau d'Arnaville et la station de Moulins

Le premier scénario porte sur la rupture de la conduite d'adduction de 900 mm de diamètre qui relie le Rupt de Mad et la station de traitement de Moulins. Cette conduite permet actuellement le transport de 30 000 m³/j en moyenne à partir de la prise d'eau du barrage d'Arnaville. Sa rupture générerait une interruption totale d'une semaine de l'approvisionnement de la Ville de Metz à partir du Rupt de Mad. Une canalisation temporaire de 400 mm serait alors installée en secours. Elle aurait pour conséquence de réduire le débit transitant dans la canalisation à environ 20 000 m³/j pendant 2 mois. Une telle rupture pourrait être causée par un glissement de terrain à Corny-sur-Moselle. Ce risque a été identifié dans plusieurs études de sécurisation réalisées sur le territoire (Véolia Eau, 2011 ; SAFEGE, 2007).

Dans la simulation du scénario avec le modèle, on considère que la rupture de la canalisation a lieu le 1^{er} juin. Ainsi, la crise a lieu pendant l'été, période la plus tendue.

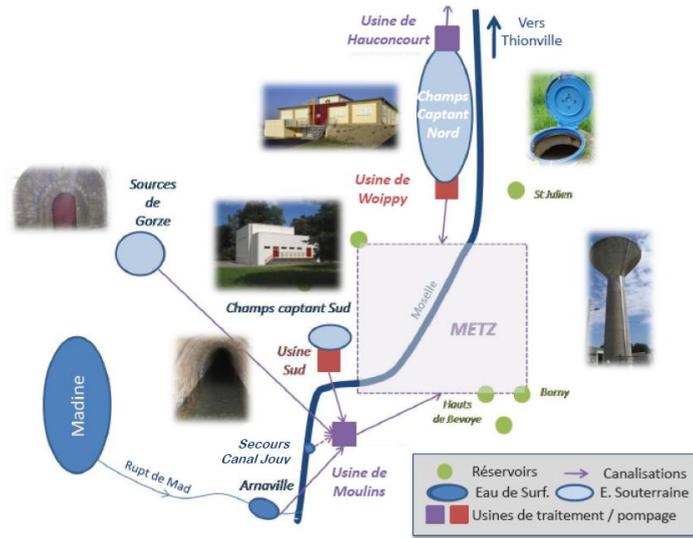


Figure 29 : Schéma simplifié de l'alimentation en eau potable de la Ville de Metz

Encadré 2 : La ressource du Rupt-de-Mad

Jusqu'en 1970, les ressources en eau de la ville de Metz provenaient essentiellement des sources de Gorze et des champs captants nord et sud situés dans les alluvions de la Moselle.

Pour pallier les insuffisances constatées à cette époque et satisfaire une demande croissante, le Rupt-de-Mad est exploité depuis 1971. Le Lac de la Madine a été créé pour assurer le soutien à l'étiage du Rupt-de-Mad. Une seconde retenue, le barrage d'Arnaville joue le rôle de prise d'eau à niveau constant. Depuis le barrage d'Arnaville, une conduite d'adduction de diamètre 900 mm et 14 km de longueur, achemine l'eau brute jusqu'à l'usine de Moulins lès Metz.

La capacité de prélèvement, de pompage et de transfert est de 90 000 m³/jour.

L'usine de Moulins-Lès-Metz, qui traite les eaux de surface du Rupt-de-Mad, disposait d'une capacité de production initiale de 90 000 m³/j, réduite en 1996 à 45 000 m³/j compte tenu de l'ajout d'une étape de traitement au charbon actif. En fonctionnement « poussé », la production peut être exceptionnellement portée à 60 000 m³/j sans dégradation de la qualité de l'eau produite, si la qualité de l'eau brute est bonne, en raison d'un temps de passage réduit sur les filtres à charbon actif en grains.

Le Rupt-de-Mad constitue ainsi désormais la ressource principale pour la production d'eau potable de la Ville de Metz. En 2018, il contribue en moyenne à 58% des volumes prélevés. Toutefois, si le Rupt-de Mad peut suppléer toutes les autres ressources en période moyenne, et certaines des autres ressources en période de pointe, les capacités cumulées des autres ressources ne permettent pas de secourir l'alimentation de la Ville de Metz dans sa globalité en cas d'indisponibilité du Rupt-de-Mad, ni en configuration moyenne, ni a fortiori en période d'étiage et de forte demande en eau potable.

Source : Véolia Eau (2011)

5.3.2. Scénario de pollution aux nitrates sur le Rupt de Mad

Le Rupt de Mad connaît dès à présent des épisodes de pic de concentration en nitrates, dépassant les 50 mg/l réglementaires pour l'AEP. Étant donné les actions mises en place sur le territoire pour essayer de contenir la problématique nitrates (atelier de territoire, actions Ferti-Mieux, etc.) il est considéré que la situation ne devrait pas trop empirer à l'avenir. On se base donc sur les chroniques de concentrations observées ces dernières années pour construire le scénario à horizon 2050. Le scénario est basé sur les données de concentration en nitrates à Arnaville de l'ARS pour la période 1999-2018, et principalement sur l'année hydrologique 2017. En effet, cette année peut être considérée comme représentative du climat attendu à horizon 2050, avec notamment des étés plus secs.

Le scénario consiste en l'occurrence de 4 pics de concentrations en nitrates dans l'année :

- automne : du 20/11 au 04/12, soit une durée de 15 jours ;
- hiver : du 25/01 au 17/02, soit une durée de 24 jours ;
- printemps : du 03/03 au 15/03, soit une durée de 13 jours ;
- fin d'été : du 18/09 au 22/09, soit une durée de 5 jours.

On considère que la concentration en nitrates de l'eau du Rupt de Mad lors de ces pics est de 100 mg/l, en se basant sur les teneurs maximums ayant pu être observées durant les dernières années de la chronique de concentrations à Arnaville. L'eau provenant du Rupt doit obligatoirement être diluée avec d'autres ressources pour pouvoir être utilisée, afin que l'eau distribuée respecte les normes de potabilité.

Pour la cartographie des résultats de l'étude (Section 6.2), les pictogrammes du Tableau 13 seront utilisés pour notifier le scénario considéré.

Pictogramme	Signification
	Rupture de canalisation entre la prise d'eau d'Arnaville et la station de Moulins
	Pollution aux nitrates sur le Rupt de Mad

Tableau 13 : Pictogrammes représentant les deux scénarios de crise modélisés

5.3.3. Disponibilité de l'approvisionnement de secours par le Canal de Jouy

Pour chacun de ces scénarios de crise, deux cas de figure sont envisagés, selon la disponibilité de la prise d'eau du canal de Jouy comme secours.

En effet, il existe une prise d'eau de secours sur le canal de Jouy, qui permet d'alimenter l'usine de Moulins. Cette prise d'eau est parfois utilisée en secours, sur autorisation, lors des pics de concentration en nitrates sur le Rupt de Mad. Toutefois, cette ressource de secours n'est pas pérenne. C'est une ressource superficielle, vulnérable aux pollutions de surface qui peuvent la rendre inutilisable pour du secours. Au-delà de présenter des concentrations élevées en chlorures, elle a ainsi parfois été sujette à des déversements accidentels de produits chimiques, et connaît régulièrement des pics de concentration en nitrates.

Encadré 3 : Le canal de Jouy

Le Canal de Jouy, alimenté par la Moselle, peut représenter une ressource potentielle de secours au Rupt-de-Mad. Une prise d'eau est disponible dans le canal et fait l'objet d'une convention entre la Ville de Metz et les Voies Navigables de France (convention signée le 22 juillet 2010). La capacité de prélèvement dans le canal de Jouy est de 42 000 m³/j (calculé sur la base d'un pompage continu sur 20 h à un débit nominal de 2 100 m³/h). L'utilisation de cette ressource doit être soumise à une demande d'autorisation auprès des services de l'état. Compte tenu des concentrations importantes en chlorures dans les eaux du Canal, son utilisation correspond à une solution dégradée (eau distribuée non conforme à la référence de qualité) pour l'alimentation en eau potable de La Ville de Metz.

Source : Véolia Eau (2011)

Ainsi, afin de prendre en compte le fait que cette ressource de secours est vulnérable, les scénarios de crise seront simulés pour deux cas de figure :

- un cas de figure optimiste, dans lequel on considère qu'il est possible de solliciter la prise d'eau de secours sur le canal de Jouy pendant l'intégralité de la crise¹³ ;
- un cas de figure pessimiste, dans lequel on considère que la prise d'eau de secours du canal de Jouy est inutilisable pendant toute la durée de la crise.

Pour la cartographie des résultats de l'étude (Section 6.2), les pictogrammes du Tableau 14 seront utilisés pour notifier le cas de figure considéré.

Pictogramme	Signification
	Prise d'eau de secours sur le canal de Jouy pouvant être sollicitée pendant toute la crise.
	Prise d'eau de secours sur le canal de Jouy inutilisable pendant toute la crise.

Tableau 14 : Pictogrammes représentant les scénarios de disponibilité de la ressource de secours du canal de Jouy

¹³ Avec des concentrations en chlorures équivalentes à celle des eaux de surface de la Moselle à l'entrée du canal.

6. Résultats des simulations à horizon 2050

Les différents scénarios à horizon 2050 ont été simulés avec le modèle en vue d'identifier les points de vulnérabilité du schéma d'approvisionnement en eau potable sur le périmètre.

6.1. Évaluation de la vulnérabilité du schéma AEP à horizon 2050

6.1.1. Scénario « standard »

On considère comme scénario dit « standard » le scénario combinant une année hydrologique « sèche », variante « probable », le scénario d'évolution de la demande « Développement » et le scénario d'évolution des rendements des réseaux « Grenelle inférieur ».

En effet :

- l'année sèche est considérée comme centrale à horizon 2050, car la fréquence d'occurrence des années sèches est considérée augmenter sous changement climatique ;
- le scénario de demande « Développement » résulte en une diminution de la demande de 9 % par rapport à aujourd'hui. C'est l'ordre de grandeur de 2 des 3 scénarios de prospective construits par le groupe de travail (scénario « Libéralisation » : - 10 %, versus scénario « Environnement » : - 20 %, Cf. Section 5.1.1) ;
- le scénario de rendement « Grenelle inférieur » (qui conduit à un rendement de 72 % en moyenne sur le périmètre, contre 80 % actuellement), correspond à un respect de la réglementation, tout en limitant les efforts financiers associés au renouvellement par rapport au scénario « Grenelle supérieur » (85 %).

Ceci constitue le scénario dit « standard », bien entendu les autres scénarios seront également simulés par la suite.

La simulation du scénario « standard » avec le modèle révèle l'existence d'une zone vulnérable dans la partie sud du périmètre, dans laquelle on observe des situations de défaillance de l'AEP, tandis que la partie nord et l'extrême sud (UGE du Grand Nancy) ne subissent pas de défaillance de l'AEP (Figure 30).

a) Zone vulnérable autour d'Atton et de la boucle de Loisy

À horizon 2050, on observe des situations de défaillance de l'AEP dans la zone d'Atton et de la boucle de Loisy, c'est-à-dire des situations où il n'est pas possible de produire suffisamment d'eau pour satisfaire toute la demande tout en respectant les seuils limite de concentration en chlorures dans les mélanges au niveau des stations de traitement.

Trois informations sont présentées pour chaque UGE affectée par des problèmes de défaillance de l'AEP (Figure 30) :

- le nombre de jours où il y a une défaillance conséquente de l'AEP (i.e. défaillance > 10 %), c'est à dire le nombre de jours où plus de 10 % de la demande en eau ne peut pas être satisfaite (par exemple, Custines connaît une légère défaillance, mais il n'y a aucun jour où cette défaillance représente plus de 10 % de la demande) ;
- le pourcentage moyen de défaillance les jours où il y a défaillance de l'AEP, c'est à dire le pourcentage moyen de la demande en eau qui ne peut pas être satisfaite (par exemple, 15 % de la demande en moyenne ne peut pas être satisfaite à Faulx les jours où il y a défaillance) ;
- le volume total de défaillance, c'est à dire le volume total de demande qui ne peut pas être satisfaite sur l'ensemble des jours où il y a une défaillance de l'AEP (par exemple, ce sont 30 476 m³ qui ne peuvent pas être distribués au total sur l'ensemble des jours de défaillance à Atton).

Ainsi, dans ce scénario standard à horizon 2050, l'UGE d'Atton connaît 88 jours de défaillance conséquente, où 100% de la demande ne peut pas être satisfaite (en respectant les seuils de concentration en chlorures), ce qui représente au total près de 30 500 m³ de demande non satisfaite (soit 345 m³/j en moyenne les jours de défaillance).

Enfin, les UGE de Seille et Moselle, Custines, et Loisy apparaissent également vulnérables, mais les taux et les volumes de défaillance restent faibles (93 m³, 15 m³ et 5 m³ respectivement).

Pour Atton, cette forte vulnérabilité s'explique par son approvisionnement mono-ressource (dans les alluvions, dans une zone affectée par des concentrations en chlorures élevées) et par l'absence d'interconnexion avec d'autres UGE disposant d'autres ressources (Tableau 15). Ainsi, lorsque la teneur en chlorures dans les alluvions au niveau des ouvrages d'Atton dépasse les seuils (Tableau 16), il n'est pas possible de distribuer de l'eau à moins de 250 mg/l et l'UGE est confrontée à une défaillance de l'AEP.

L'UGE de Seille et Moselle dispose d'un approvisionnement plus diversifié, avec une ressource non chlorurée (Plateau Lorrain, Cf. Tableau 15) en plus des alluvions. Toutefois, cette ressource n'est pas suffisante pour satisfaire les besoins de l'UGE lorsque les concentrations en chlorures dans les alluvions dépassent les seuils (Tableau 16) et que le mélange à la Station de Chloration de Loisy ne peut respecter le seuil de 250 mg/l pour être distribué.

En ce qui concerne les autres UGE vulnérables (Custines, Faulx, Loisy, Millery), elles disposent de ressources propres non chlorurées (Tableau 15) mais ces ressources ne sont pas suffisantes pour satisfaire la totalité de leurs besoins. Aussi, elles importent de l'eau depuis la Station de Chloration de Loisy (de l'Obrion-Moselle ou de Seille et Moselle). Lorsque les ouvrages alimentant la station de chloration de Loisy subissent des dépassements des seuils de concentration en chlorures (Tableau 16), les achats d'eau sont alors limités, la demande ne peut être totalement satisfaite et des situations de défaillance apparaissent.

UGE	Ressources propres	Achats
ATTON	Alluvions	Aucun
CUSTINES	Dogger Plateau Lorrain	Station de chloration de Loisy (Obrion Moselle)
FAULX	Plateau Lorrain	Station de chloration de Loisy (Obrion Moselle)
LOISY	Plateau Lorrain	Station de chloration de Loisy (Seille et Moselle)
MILLERY	Plateau Lorrain	Station de chloration de Loisy (Obrion Moselle)
SEILLE ET MOSELLE	Alluvions Plateau Lorrain	Station de chloration de Loisy (Obrion Moselle)

Tableau 15 : Ressources des UGE vulnérables à horizon 2050

Ressource	Nombre de jours de dépassement des 250 mg/l (scénario : année sèche, variante probable)	
Ressources propres dans les Alluvions	Ouvrages d'Atton :	88 jours
	Ouvrages de Seille et Moselle :	1 à 12 jours
Achats à la station de chloration de Loisy	Ouvrages de Seille et Moselle :	12 jours
	Ouvrages de l'Obrion Moselle :	21 jours

Tableau 16 : Dépassements des seuils de concentration en chlorures dans les ressources des UGE vulnérables à horizon 2050

b) Moitié Nord du périmètre et UGE du Grand Nancy

Les UGE du reste du périmètre ne connaissent pas de problème de défaillance à horizon 2050 en conditions « standard » (en vert sur la Figure 30).

En effet, les UGE avec les demandes les plus importantes sont soit relativement peu dépendantes des alluvions, avec des ressources diversifiées (Bassin ferrifère, Dogger). C'est le cas du SIEGVO (10 % de la demande du périmètre) ou de l'UGE de Thionville (7 % de la demande du périmètre). Soit elles ont déjà mis en place des infrastructures d'adaptation à la problématique chlorures. Par exemple, la prise d'eau sur la Moselle amont pour l'UGE du Grand Nancy (32 % de la demande du périmètre), ou la prise d'eau sur le Rupt de Mad pour l'UGE de Metz (26 % de la demande du périmètre, ainsi que des ventes à d'autres UGE du nord du périmètre).

Toutefois, on constate que les infrastructures sont fortement sollicitées en été par rapport à leurs limites de capacité (Figure 31 et Annexe 13). 62 % des ouvrages de prélèvements sont sollicités à plus de 90 % de leurs capacités en été à horizon 2050 dans le scénario standard, notamment en lien avec le report de ressources chlorurées vers des ressources non chlorurées. 22 % des stations de traitement sont sollicitées à plus de 90% de leurs capacités en été, ce qui peut limiter l'exploitation de certains ouvrages de prélèvement non affectés par la problématique chlorures (Annexe 13).

Ainsi, la partie nord du territoire ne connaît pas de défaillance de l'AEP à horizon 2050 en conditions « standard », mais elle dispose de relativement peu de marge de manœuvre pour s'adapter en cas de problème.

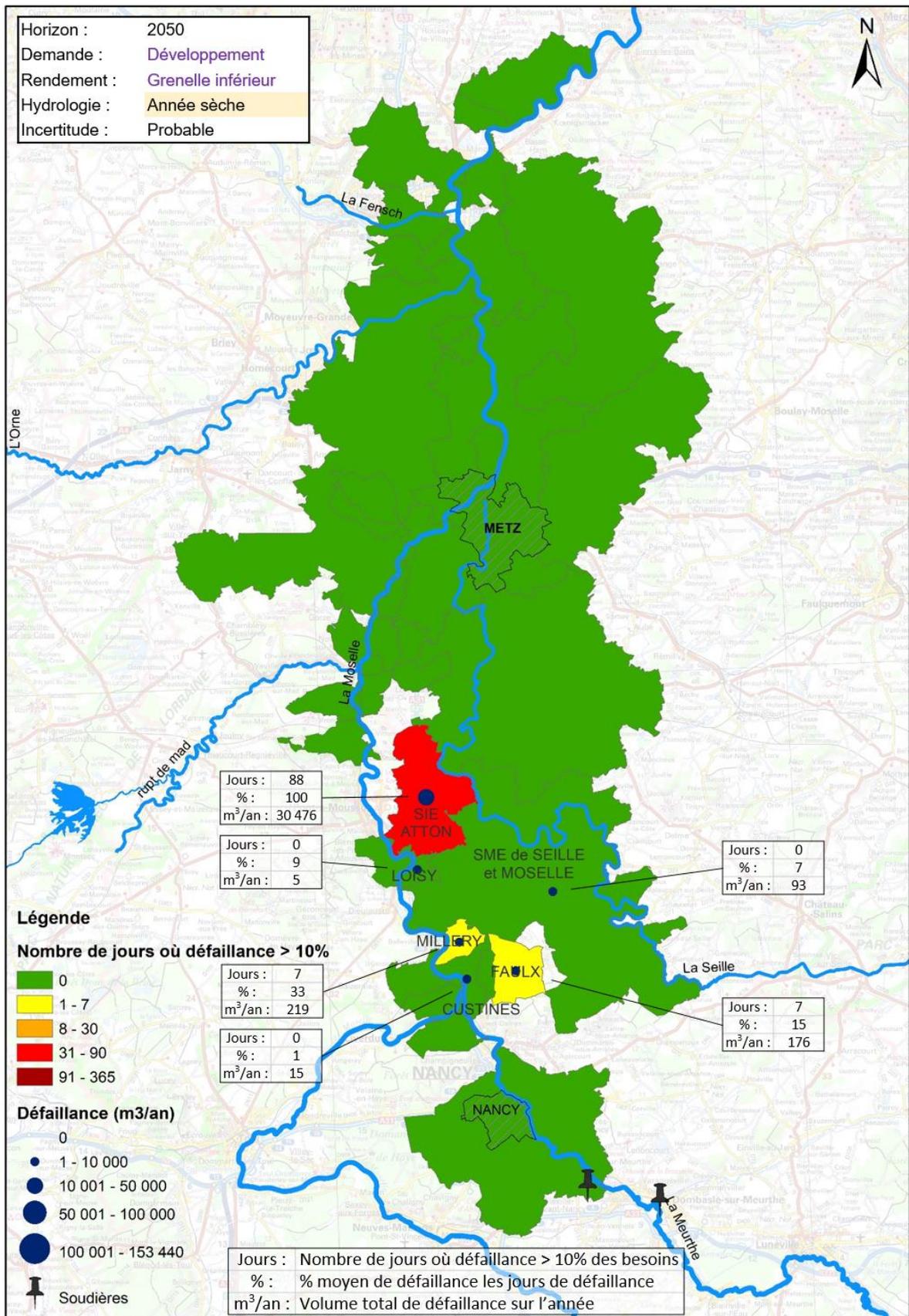


Figure 30 : Situations de défaillance de l'AEP par UGE à horizon 2050 dans le scénario standard

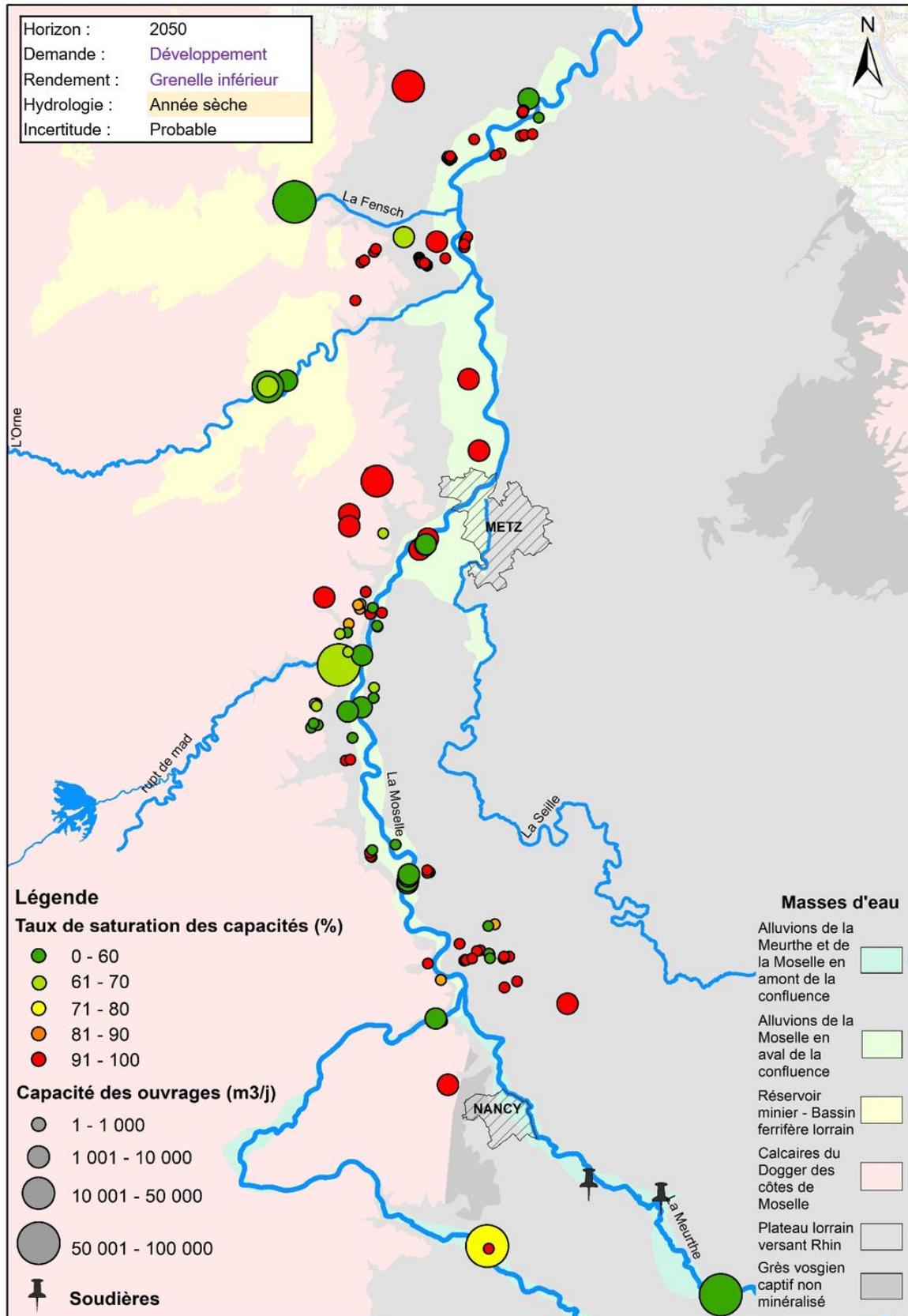


Figure 31 : Taux de sollicitation des ouvrages de prélèvement en été à horizon 2050 (scénario « standard »), par rapport aux capacités de prélèvement

6.1.2. Impact du scénario climatique et de l'incertitude

Les résultats présentés précédemment correspondaient au scénario dit « standard » à horizon 2050, c'est à dire pour une année hydrologique sèche, variante « probable ». On explore ici l'impact des autres scénarios climatiques et de la prise en compte de l'incertitude.

La Figure 32 illustre l'impact de l'incertitude liée à la faible fréquence des données de concentrations en chlorures sur les résultats en termes de défaillance, en comparant les résultats de simulations pour les variantes « Probable » (scénario standard), « Optimiste » et « Pessimiste » de l'année hydrologique sèche. Ces résultats montrent une forte variabilité de l'intensité de la défaillance pour l'UGE d'Atton : alors qu'il n'y a que 5 jours de défaillance dans le scénario Optimiste, on observe 183 jours de défaillance dans le scénario Pessimiste. Pour les UGE de Faulx et Millery, on passe de 7 jours de défaillance dans le scénario standard à 21 jours de défaillance dans le scénario Pessimiste. Toutefois, la zone identifiée comme vulnérable reste la même. Il existe donc une forte incertitude sur l'intensité de la défaillance (le volume total de défaillance sur la zone varie entre 4 000 et 62 000 m³ environ, Cf. Tableau 17), mais pas sur l'identification d'une vulnérabilité.

La Figure 33 illustre l'impact des scénarios correspondant aux trois années hydrologiques types. Pour les trois types d'années, « Moyenne », « Sèche », « Sèche + », ce sont toujours les mêmes UGE qui apparaissent vulnérables. Pour les UGE de Seille et Moselle, Faulx, Millery, Custines et Loisy, l'intensité de la défaillance varie relativement peu entre les différentes années hydrologiques : entre 0 et 1 jour de défaillance de plus de 10 % pour Seille et Moselle, Loisy et Custines, et entre 2 et 7 jours pour Millery et Faulx. Pour Atton, la variabilité est bien plus importante, la défaillance varie entre aucun jour de défaillance de plus de 10% pour l'année moyenne, à 88 jours de défaillance à 100 % en année sèche, et 41 jours de défaillance à 100% en année « sèche + ». On notera que pour l'ouvrage de prélèvement d'Atton le nombre de jours de dépassement des 250 mg/l de chlorures est plus important en année « Sèche » qu'en année « Sèche + » (Figure 24, ouvrage identifié par le numéro #0173). Cela est lié aux données de concentrations disponibles pour l'unique ouvrage de mesure du secteur (Figure 19) lors des années type historiques¹⁴. Inversement, la situation est un peu plus favorable en année « Sèche » qu'en année « Moyenne » pour 2 ouvrages de la boucle de Loisy (Figure 24), la défaillance est ainsi légèrement plus faible en année « Sèche » qu'en année « Moyenne » pour les UGE de Seille et Moselle et Loisy. Le volume total de défaillance sur l'ensemble des UGE identifiées comme vulnérables varie entre 3 000 et 31 000 m³ environ, selon les années hydrologiques (Tableau 17).

Dans le scénario le plus favorable en termes d'année hydrologique et d'incertitude, c'est-à-dire pour une année « Moyenne », variante « Optimiste », la vulnérabilité de la zone est fortement atténuée. Seule Atton reste vulnérable, et sa défaillance reste inférieure à 10 % (Figure 95, Annexe 12). 9 % de sa demande en moyenne ne peut pas être satisfaite les jours de défaillance, ce qui représente 2 764 m³ ne pouvant pas être distribués au total.

¹⁴ Ces années type ont été définies comme « moyenne », « sèche » et « sèche + » (années 2008, 2003 et 2005, respectivement) d'un point de vue global sur l'ensemble du périmètre. Cependant, localement au niveau de l'ouvrage de mesure #0173 des concentrations plus élevées avaient été mesurées en 2003 (année type « sèche ») qu'en 2005 (année type « sèche + »).

La Figure 34 permet quant à elle d'explorer les impacts du scénario le plus défavorable (hors crise) à horizon 2050, avec la simulation de la variante « Pessimiste » d'une année hydrologique « Sèche + » (i.e. année sèche en fin de période sèche). Dans ce scénario, Atton subit 153 jours de défaillance où 100 % de la demande ne peut pas être satisfaite, ce qui représente un total de 49 400 m³ ne pouvant être distribués. Faulx et Millery subissent cette fois 15 jours de défaillance conséquente (avec 15 et 33 % de demande non satisfaite en moyenne, respectivement). L'UGE de Seille et Moselle est cette fois confrontée à une défaillance conséquente, dépassant les 10 % pendant 3 jours. C'est en moyenne 19% de sa demande qui ne peut être satisfaite, pour un total de 7 400 m³. À nouveau, si l'intensité de la défaillance varie, les zones vulnérables restent assez circonscrites. Ce scénario fait toutefois apparaître d'autres zones ponctuelles de vulnérabilité dans la moitié Nord du périmètre, à savoir les UGE d'Uckange, Hagondange et La Maxe. En effet, ces UGE sont entièrement dépendantes de l'eau produite à la station de Hauconcourt (UGE de Metz). Or, cette station est alimentée par les alluvions de la Moselle et dans ce scénario défavorable (année « Sèche + », variante « Pessimiste) il y a 1 jour où les concentrations en chlorures ne peuvent respecter le seuil de 250 mg/l et l'eau ne peut pas être distribuée, occasionnant une défaillance totale de l'AEP d'une journée pour les UGE dépendantes. Pour rappel, les réservoirs et leurs capacités de stockage ne sont pas pris en compte dans cette étude. Une défaillance d'une seule journée pourrait probablement être soulagée par les volumes stockés.

En conclusion, les simulations réalisées permettent bien d'identifier les zones de vulnérabilité du schéma AEP à horizon 2050, même s'il n'est pas possible de prédire avec exactitude l'intensité de la défaillance qui, au-delà de varier selon les années hydrologiques, est sujette à l'incertitude associée à la faible fréquence des données de concentrations en chlorures en eaux souterraines disponibles (tous les chiffres caractérisant les situations de défaillance pour les différents scénarios sont récapitulés dans le Tableau 17 et le Tableau 18). Cette vulnérabilité est liée à la forte (voire totale) dépendance de ces UGE vis-à-vis des alluvions de la Moselle.

6.1.3. Impact du scénario d'évolution des besoins en eau

Des scénarios volontaristes en termes de maîtrise des rendements des réseaux et de maîtrise de la demande peuvent être envisagés en tant que levier pour atténuer la vulnérabilité des UGE aux situations de défaillance de l'AEP. Les impacts des scénarios d'évolution de la demande et d'évolution des rendements des réseaux pour la zone vulnérable autour d'Atton et de la boucle de Loisy sont présentés dans la section 6.3 (Figure 43, Figure 44, Figure 45 et Figure 46, partie sud du périmètre.).

Horizon : 2050
 Demande : Développement
 Rendement : Grenelle inférieur
 Incertitude : Probable

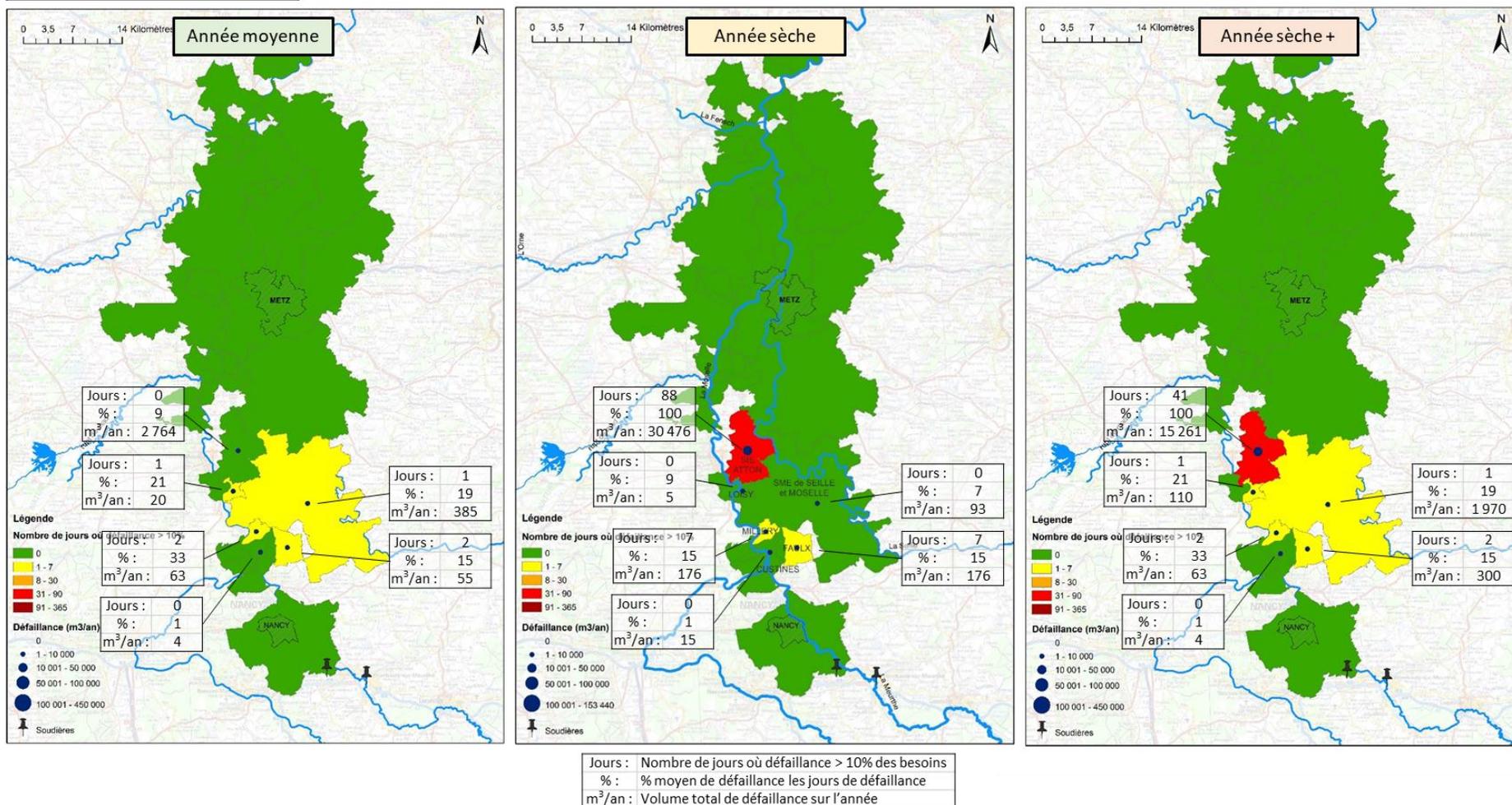


Figure 33 : Situations de déficience de l'AEP à horizon 2050, impact de l'année hydrologique considérée

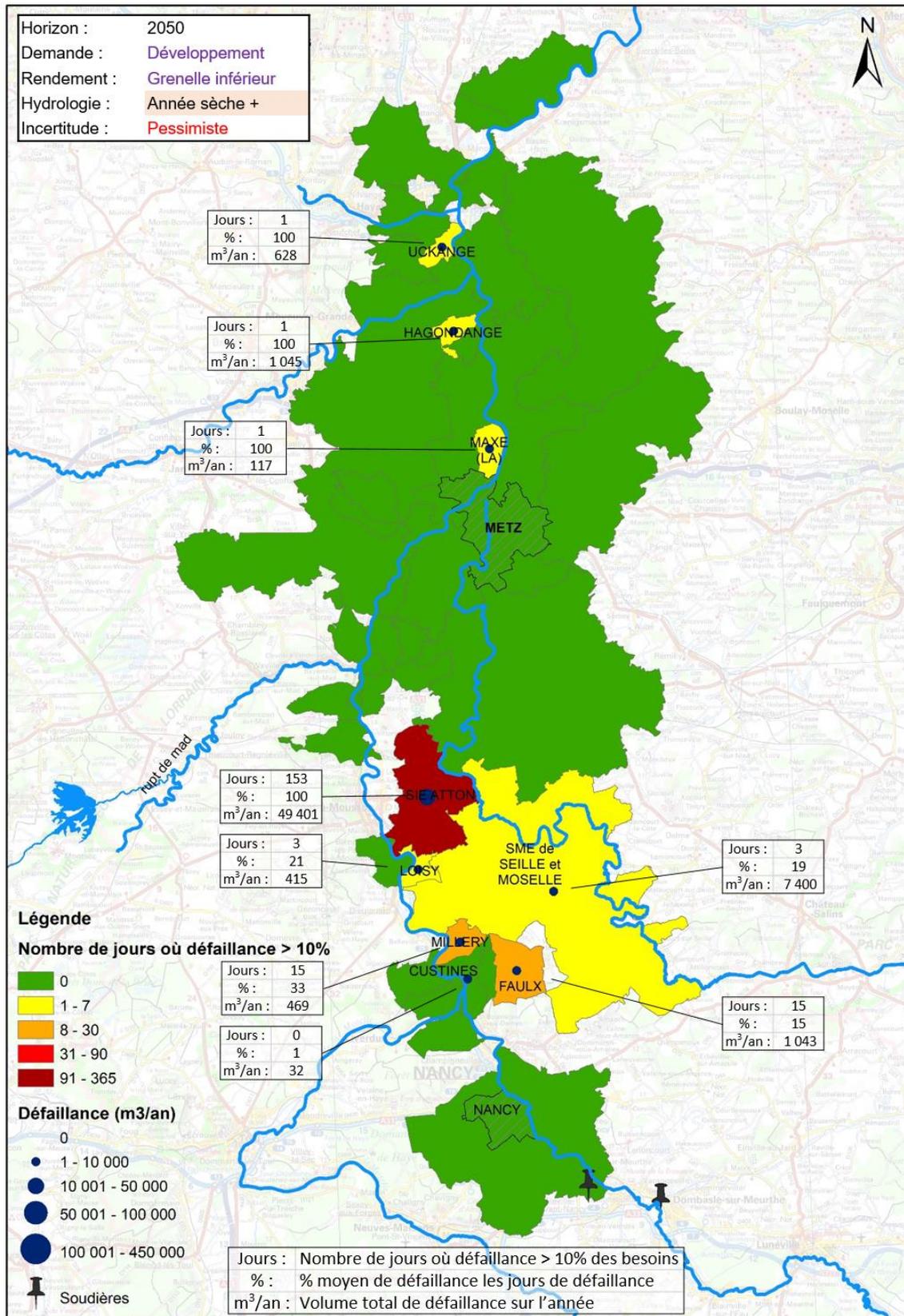


Figure 34 : Situations de défaillance de l'AEP à horizon 2050 dans le scénario le plus défavorable (hors crise)

6.2. Vulnérabilité du Schéma AEP face aux scénarios de crise

La section précédente a montré que la partie nord du territoire était exempte de situations de défaillance de l'AEP à horizon 2050 en conditions normales, mais qu'elle disposait toutefois de relativement peu de marge de manœuvre pour s'adapter en cas de problème. Dans cette section, les scénarios de crise affectant la ressource du Rupt de Mad (Section 5.3) vont être simulés, révélant la vulnérabilité d'une partie du nord du territoire.

Les sections suivantes présentent les résultats de simulation des scénarios de crise dans différents contextes :

- hydrologiques (voir Section 0) ;
- d'évolution des besoins en eau (voir Section 5.1) ;
- ainsi que de disponibilité du canal de Jouy en secours (voir Section 0).

Le détail des résultats en termes de défaillance de l'AEP face aux scénarios de crise dans les différents contextes est présenté dans le Tableau 17 et le Tableau 18, pour les UGE concernées.

On commence par simuler les scénarios de crise pour une année « standard » à horizon 2050, à savoir un scénario combinant une année hydrologique « Sèche » (variante « Probable »), un scénario de demande « Développement » et un scénario de rendement « Grenelle inférieur ».

6.2.1. Rupture de canalisation entre la prise d'eau d'Arnaville et la station de Moulins

Les scénarios de crise sont simulés pour deux cas de figure, selon la disponibilité ou non de la ressource du canal de Jouy en secours (Section 0).

a) *Sans le secours du canal de Jouy*

La simulation du scénario de crise « Rupture de canalisation entre la prise d'eau d'Arnaville sur le Rupt de Mad et la station de Moulins » (Section 5.3.1) fait apparaître d'importantes situations de défaillance dans le nord du périmètre d'étude.

La Figure 35 illustre l'impact du scénario de crise dans le cas de figure où le canal de Jouy ne serait pas du tout disponible en secours pendant la crise. C'est la partie nord du périmètre qui est impactée par la crise, à savoir l'UGE de Metz (qui voit sa ressource directement affectée), et les UGE dépendantes d'achats d'eau auprès de l'UGE de Metz. Les situations de défaillance visibles dans la partie sud du périmètre ne sont pas liées à la crise, il s'agit des UGE qui étaient déjà vulnérables en conditions standard (Figure 30).

L'UGE de Metz subit 60 jours de défaillance consécutive (>10% de défaillance), où en moyenne 53 % de sa demande ne peut pas être satisfaite, ce qui représente un total de plus de 422 000 m³ de demande non satisfaite sur l'ensemble de la crise. Le syndicat des eaux de Verny, le syndicat des eaux du sillon de l'est-Messin, et les UGE d'Uckange, Hagondange et La Maxe subissent 68 jours de défaillance totale (100 % de défaillance), ce qui représente au total plus de 390 000 m³ de demande non satisfaite. Le volume total de défaillance sur l'ensemble des UGE affectées par la crise est ainsi de 814 000 m³ environ (Tableau 17) sur l'ensemble de la crise. Au pas de temps journalier, les volumes ne pouvant être distribués sont de 5 430 m³/jour pendant 8 jours, 20 470 m³/jour pendant 7 jours, et 11 840 m³/jour pendant 53 jours, sur l'ensemble de la zone affectée.

Dans le modèle du schéma AEP, le comportement des UGE est modélisé ainsi : elles vont tout d'abord prioriser la satisfaction de leur demande interne, puis les ventes aux autres UGE du périmètre (en priorisant les transferts les plus proches), et enfin en dernier lieu les exports vers l'extérieur du périmètre. Ainsi, lorsque l'UGE de Metz voit ses ressources affectées par la crise, elle va 1) d'une part chercher à compenser ce déficit de ressource en augmentant la production à partir des autres ressources disponibles (station de Hauconcourt) et en augmentant ses imports (auprès de l'UGE de l'Est Thionvillois) mais, cela n'étant pas suffisant pour compenser, elle va 2) d'autre part diminuer ses ventes d'eau, ce qui va impacter les UGE acheteuses. Cette diminution des ventes et la priorisation de sa demande interne n'est cependant pas suffisante pour éviter la défaillance au sein de l'UGE de Metz.

Les autres UGE affectées par la crise sont celles dépendant de l'UGE de Metz pour leur approvisionnement. Le syndicat du sillon de l'Est Messin dépend exclusivement d'achats d'eau produite à la station de Moulins, il est donc directement impacté par la baisse de production liée à la crise. Les UGE d'Uckange, Hagondange et La Maxe dépendent exclusivement d'achats d'eau à la station de Hauconcourt, ils sont donc impactés par la priorisation de l'eau produite à Hauconcourt pour la satisfaction de la demande interne de l'UGE de Metz, qui se traduit par la diminution des ventes d'eau. Le syndicat de Verny achète de l'eau produite à Moulins, mais dispose également de ressources propres dans les alluvions de la Moselle. Cependant, dans le scénario considéré (année sèche, variante Probable), ces ressources subissent 133 jours de dépassement des seuils de chlorures. Le syndicat est donc dépendant des achats à l'UGE de Metz pour pouvoir distribuer de l'eau conforme, et lorsque la crise contraint ces achats il n'est plus capable de satisfaire sa demande.

D'autres UGE achètent également de l'eau à l'UGE de Metz (UGE de Guénange, Florange et Serémange-Erzange, Thionville, le SIEGVO) mais disposent de ressources alternatives suffisantes pour éviter la défaillance lors de la crise. Il s'agit notamment du Bassin Ferrifère Lorrain, qui est exploité directement par le SIEGVO et Thionville, et qui contribue à l'approvisionnement de Guénange, Florange et Serémange-Erzange, et Thionville via des achats au syndicat du Fensch-Lorraine.

Encadré 4 : Le cas de Montigny-lès-Metz

La présente étude ne prend pas en compte de façon explicite la dynamique de réinfiltration de l'eau de la Sablière, et sa réalimentation par le Rupt de Mad, sur le champ captant de Maison Rouge de Montigny-lès-Metz durant les scénarios de crise sur la ressource du Rupt de Mad.

En effet cette dynamique est complexe, sa compréhension n'est pas assez bonne actuellement et nécessiterait de plus amples études pour pouvoir la modéliser de façon adéquate (Cf. étude de sécurisation 2017 de Montigny-lès-Metz).

En cas d'interruption ou diminution de cette réinfiltration, il y aurait un effet tampon de la nappe, l'aquifère pourrait continuer à être en capacité de produire de l'eau conforme du fait de son inertie (volumes stockés). Toutefois, en l'état actuel des connaissances, il n'est possible ni de modéliser correctement cet effet tampon, ni la réaction locale de la nappe à une diminution de la réinfiltration pendant la durée de la crise affectant le Rupt de Mad. Étant donné la forte porosité de la nappe alluviale de la Moselle, nous faisons l'hypothèse que son inertie est suffisamment grande pour que le fonctionnement du champ captant de Maison Rouge ne soit pas impacté pendant une crise ponctuelle touchant le Rupt de Mad. Cette hypothèse sous-évalue les éventuels problèmes d'approvisionnement pour Montigny-lès-Metz en cas de crise sur la ressource du Rupt de Mad.

Si l'UGE de Montigny-lès-Metz se retrouvait dans une situation concomitante d'étiage engendrant une indisponibilité de la ressource de Montvaux et de rupture d'approvisionnement via le Rupt de Mad, elle risquerait de rencontrer une détérioration de la qualité sur le champ captant de Maison Rouge.

b) Avec le secours du canal de Jouy

Dans le cas de figure où le canal du Jouy est disponible en secours pendant toute la durée de la crise, la défaillance est fortement atténuée (Figure 36). Les UGE dépendantes d'achats d'eau à l'UGE de Metz ne subissent que 7 jours de défaillance totale au lieu de 68 jours, et l'UGE de Metz ne subit que 7 jours de défaillance (avec 47% de défaillance en moyenne) au lieu de 60 jours (avec 53 % de défaillance en moyenne). Le volume total de défaillance sur l'ensemble des UGE affectées par la crise est diminué de 84 %, passant de 814 000 m³ à 126 000 m³ environ (Tableau 17).

Cependant, le secours du canal de Jouy, dans l'éventualité où il serait disponible pendant toute la durée de la crise, reste insuffisant pour compenser entièrement la défaillance liée à la crise.

En conclusion, la simulation de ce scénario de crise (rupture de canalisation entre la prise d'eau d'Arnaville et la station de Moulins) fait apparaître que le Rupt de Mad est une ressource essentielle pour la partie nord du périmètre d'étude. Les autres ressources et infrastructures existantes sont insuffisantes pour compenser la crise.

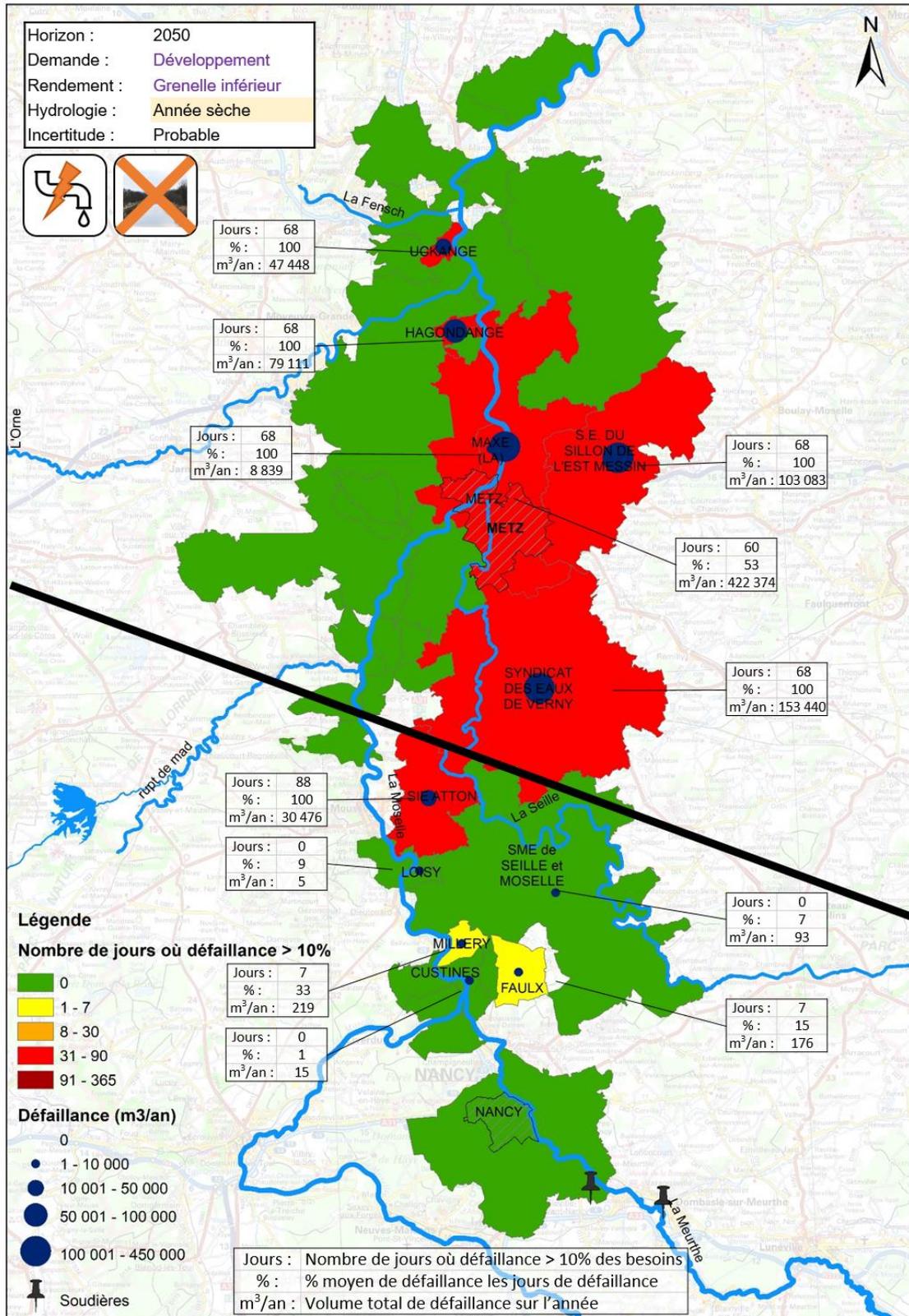


Figure 35 : Situations de défaillance de l'AEP à horizon 2050 dans le scénario de crise « Rupture de canalisation entre le Rupt de Mad et la station de Moulins », dans le cas où le canal de Jouy n'est pas disponible en secours. NB : la vulnérabilité des UGE du sud n'est pas liée à la crise.

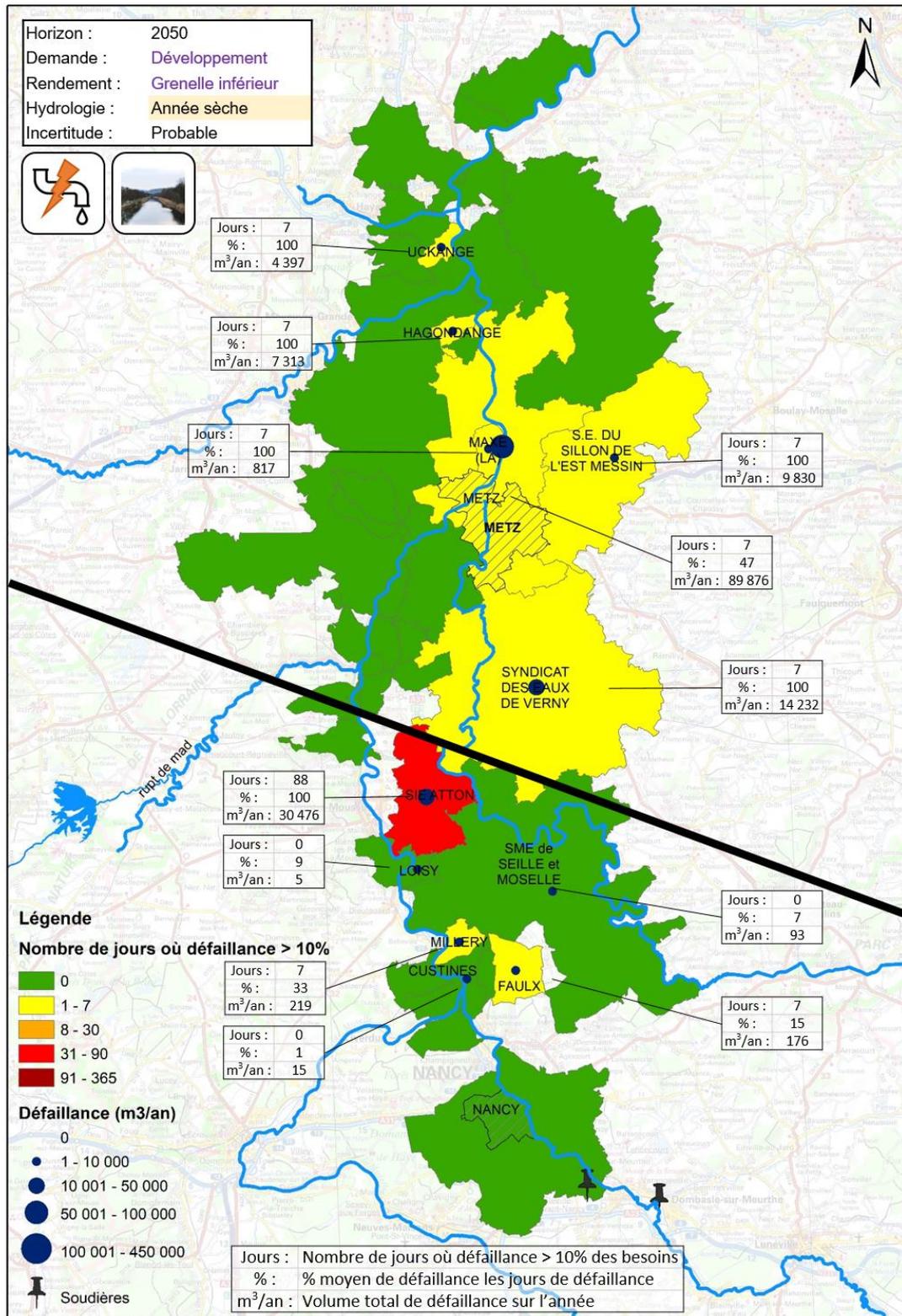


Figure 36 : Situations de défaillance de l'AEP à horizon 2050 dans le scénario de crise « Rupture de canalisation entre le Rupt de Mad et la station de Moulins », dans le cas où le canal de Jouy est disponible en secours pendant toute la durée de la crise. NB : la vulnérabilité des UGE du sud n'est pas liée à la crise.

6.2.2. Pollution aux nitrates sur le Rupt de Mad

La simulation du scénario de crise « Pollution aux nitrates sur le Rupt de Mad » (Section 5.3.2), où quatre périodes de pics de concentrations en nitrates affectent la ressource du Rupt de Mad au cours de l'année, fait apparaître la même dépendance de la partie nord du périmètre à la ressource du Rupt de Mad.

a) Sans le secours du canal de Jouy

La Figure 37 illustre l'impact du scénario de crise dans le cas de figure où le canal de Jouy ne serait pas du tout disponible en secours pendant la crise. Elle témoigne de la même vulnérabilité des UGE dépendantes d'achats d'eau à l'UGE de Metz, cependant les impacts en termes de défaillance de l'AEP sont moins forts que dans le scénario de rupture de canalisation (Figure 35).

En effet, lors des pics de nitrates ayant lieu à l'automne, en hiver et au printemps, les autres ressources et infrastructures de production sont suffisantes pour compenser la baisse de disponibilité de la ressource du Rupt de Mad. Il est possible de prélever plus sur les ressources du champ captant Metz Sud et de Gorzes afin de diluer plus l'eau du Rupt de Mad et compenser la diminution du prélèvement sur le Rupt de Mad.

C'est seulement lors du pic de nitrates ayant lieu en été, dans un contexte de demande plus élevée et de ressources amoindries par l'étiage et des concentrations élevées en chlorures, que le schéma d'approvisionnement n'est plus à même de satisfaire les demandes et que la défaillance apparaît. Il n'est alors pas possible de prélever plus sur les ressources du champ captant Metz Sud et de Gorzes, déjà sollicités à leur maximum, afin de diluer plus l'eau du Rupt de Mad. L'UGE de Metz et les cinq UGE entièrement ou fortement dépendantes d'achats d'eau à l'UGE de Metz subissent alors 5 jours de défaillance, correspondant aux 5 jours du pic estival de concentrations en nitrates sur le Rupt de Mad. Pour l'UGE de Metz, c'est 57 % de la demande qui ne peut pas être satisfaite pendant ces 5 jours ; pour les autres, la défaillance est totale (100 % de la demande ne peut pas être satisfaite). Le volume total de défaillance sur l'ensemble des UGE affectées par la crise est ainsi de 120 000 m³ environ (Tableau 18). Au pas de temps journalier, c'est à dire pour chaque jour du pic de nitrates ayant lieu pendant l'été, les volumes ne pouvant être distribués sont de 23 960 m³/jour, sur l'ensemble de la zone affectée.

Pour rappel, les situations de défaillance visibles dans la partie sud du périmètre ne sont pas liées à la crise, il s'agit des UGE qui étaient déjà vulnérables en conditions standard (Figure 30).

b) Avec le secours du canal de Jouy

Contrairement à la crise « Rupture de canalisation », dans le cas de la crise « Pollution aux nitrates » le secours du canal de Jouy est suffisant pour compenser entièrement la défaillance dans la partie nord du périmètre affectée par la crise (Figure 38). Ceci dans l'éventualité où le canal serait disponible en secours pendant tous les pics de la crise, et ne présenterait donc pas lui-même de concentrations élevées en nitrates ou autres polluants.

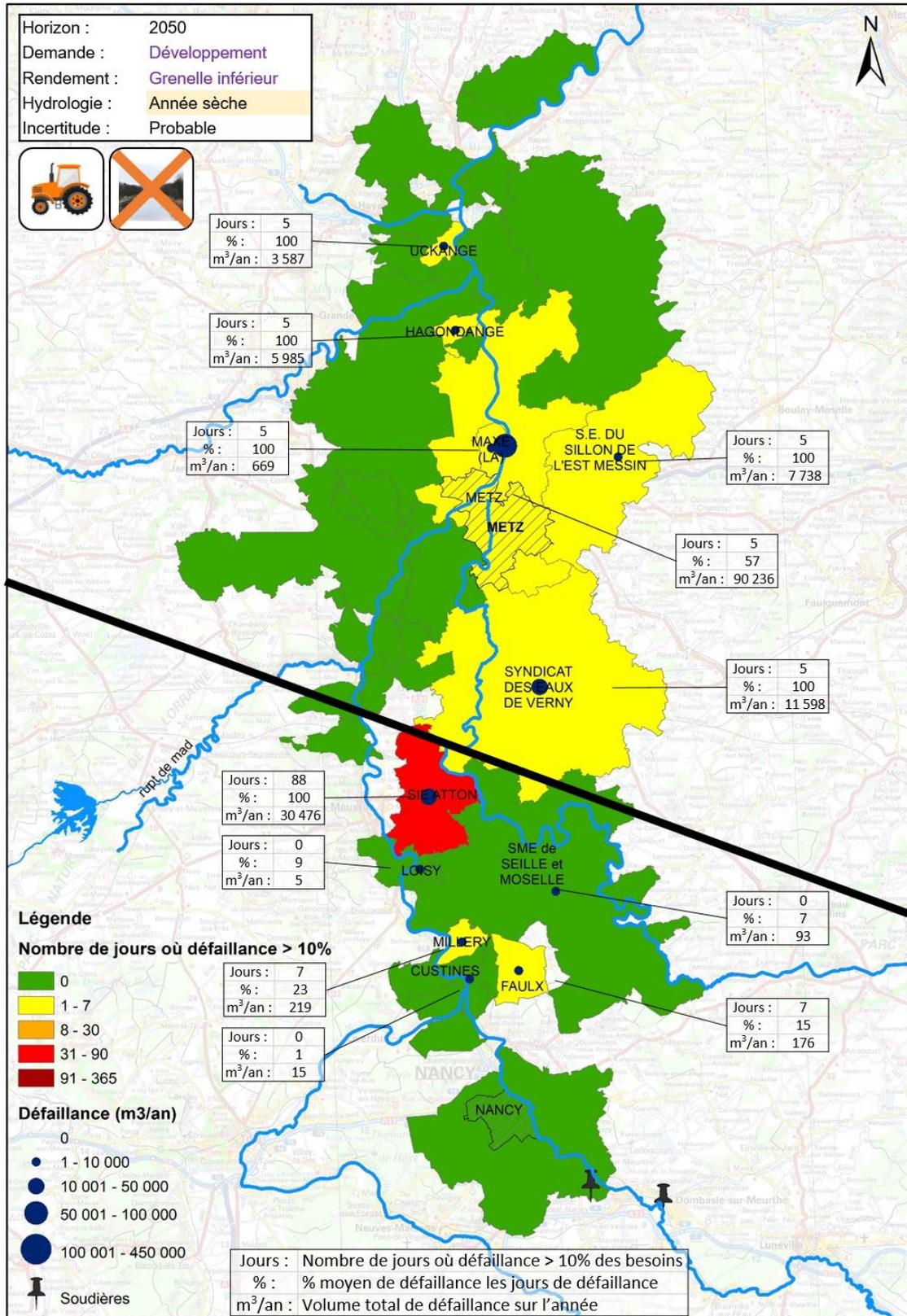


Figure 37 : Situations de défaillance de l'AEP à horizon 2050 dans le scénario de crise « Pollution aux nitrates sur le Rupt de Mad », dans le cas où le canal de Jouy n'est pas disponible en secours. NB : la vulnérabilité des UGE du sud n'est pas liée à la crise.

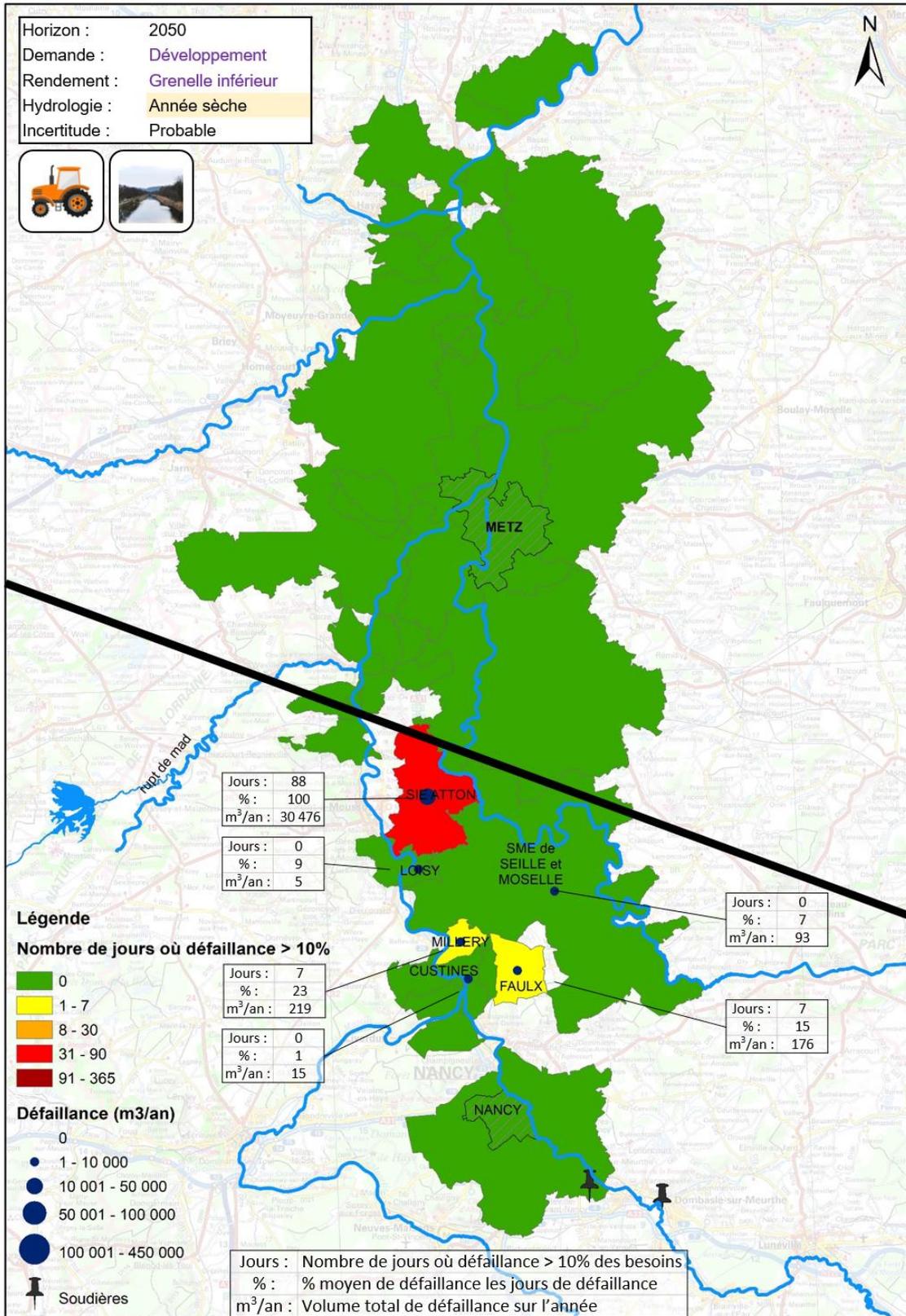


Figure 38 : Situations de défaillance de l'AEP à horizon 2050 dans le scénario de crise « Pollution aux nitrates sur le Rupt de Mad », dans le cas où le canal de Jouy est disponible en secours pendant toute la durée de la crise. NB : la vulnérabilité des UGE du sud n'est pas liée à la crise.

6.2.3. Impact du scénario climatique et de l'incertitude

La Figure 39 et la Figure 41 illustrent les résultats des scénarios de crise « Rupture de canalisation entre le Rupt de Mad et Moulins » et « Pollution aux nitrates sur le Rupt de Mad » dans différents contextes d'années hydrologiques (« Moyenne », « Sèche » ou « Sèche + »). La Figure 40 et la Figure 42 illustrent les résultats de ces scénarios de crise dans différents contextes d'incertitude (« Probable », « Optimiste » ou « Pessimiste »). Le détail des chiffres est disponible dans le Tableau 17 et le Tableau 18.

Pour rappel, les scénarios de crise touchent la partie nord du périmètre d'étude. Les situations de défaillance visibles dans la partie sud du périmètre ne sont pas liées à la crise (il s'agit des UGE qui étaient déjà vulnérables en conditions normales, Cf. Figure 30).

On constate que les résultats des scénarios de crise sont très peu sensibles au scénario climatique et à l'incertitude. Que ce soit pour la rupture de canalisation (Figure 39 et Figure 40) ou pour les pics de pollution aux nitrates (Figure 41 et Figure 42), la cartographie des résultats ne varie pas dans la partie nord du périmètre affectée par la crise entre les trois cartes. Lorsque l'on regarde les chiffres en détails (Tableau 17 et Tableau 18), on constate que le volume total de défaillance liée à la crise est réduit de 5 % dans un contexte d'année « Moyenne » ou pour la variante « Optimiste » de l'incertitude pour le scénario de rupture de canalisation (environ 773 000 m³ de défaillance au total au lieu de 814 000 m³, Cf. Tableau 18), et de 3 % pour le scénario de pollution aux nitrates (environ 116 000 m³ de défaillance au total au lieu de 120 000 m³, Cf. Tableau 17).

Dans le cas où l'on combine une année « Sèche + » avec une variante « Pessimiste » de l'incertitude, les situations de défaillance sont seulement légèrement aggravées pour les UGE d'Hagondange, Uckange et La Maxe, avec 69 jours de défaillance consécutive au lieu de 68 dans le cas de la rupture de canalisation (Tableau 17), et 6 jours au lieu de 5 dans le cas de la pollution aux nitrates (Tableau 18). Le volume total de défaillance liée à la crise n'est augmenté que de moins d'un pourcent (moins de 2 000 m³) pour le scénario rupture de canalisation (Tableau 18), et d'1,5 % (moins de 2 000 m³) pour le scénario de pollution aux nitrates (Tableau 17).

Dans la partie sud du périmètre (non touchée par la crise, mais déjà vulnérable en conditions normales), les résultats sont par contre assez sensibles au scénario climatique et à l'incertitude, ainsi que cela avait déjà été noté dans la section 6.1.2 (Figure 32 et Figure 33). Les situations de défaillance sont aggravées en année « Sèche + » combinée à la variante « Pessimiste » de l'incertitude (Figure 34 et Tableau 17 ou Tableau 18).

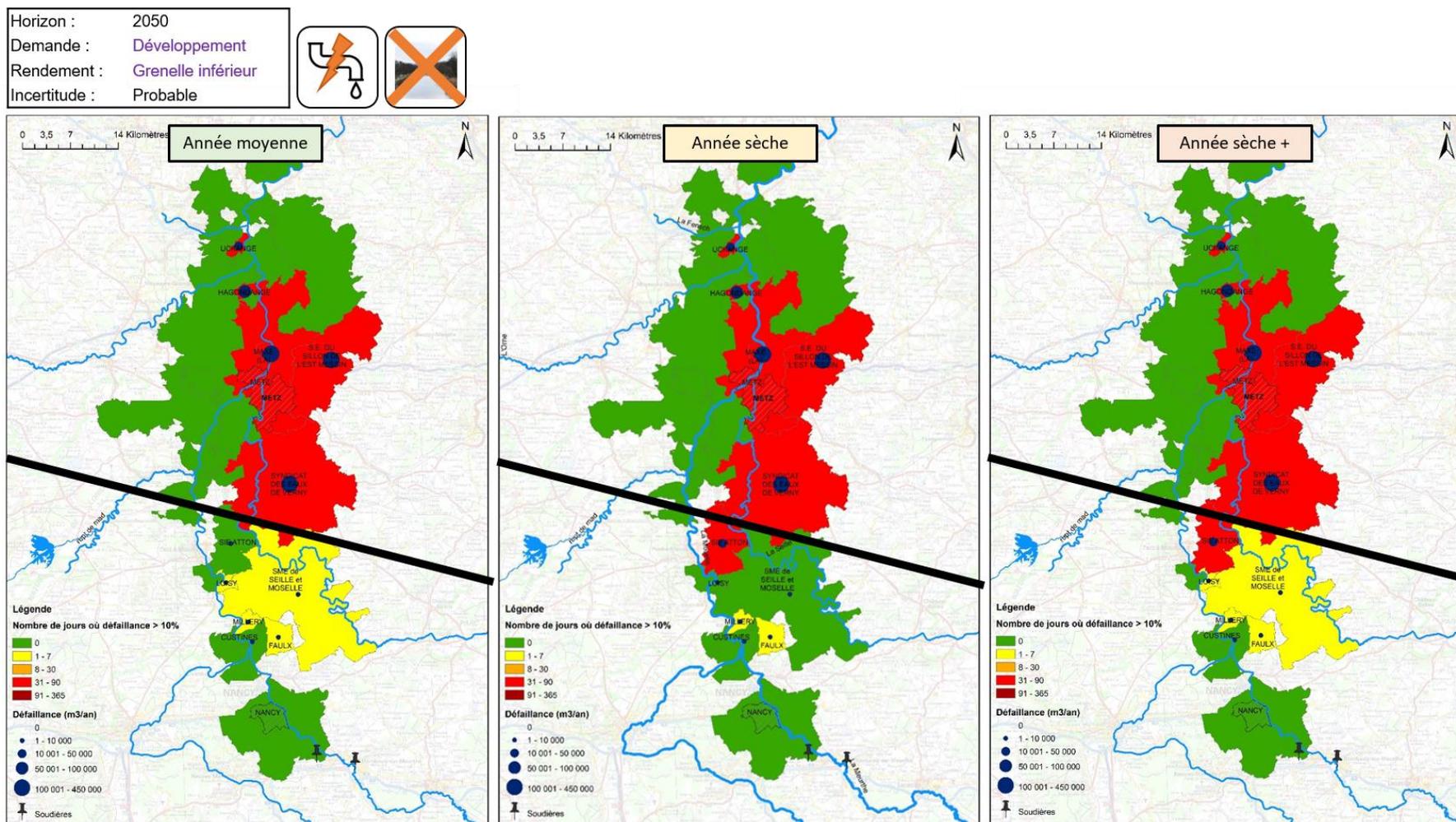


Figure 39 : Situations de défaillance de l'AEP à horizon 2050 dans le scénario de crise « Rupture de canalisation entre le Rupt de Mad et la station de Moulins », impact de l'année hydrologique. (NB : la vulnérabilité des UGE du sud n'est pas liée à la crise.)

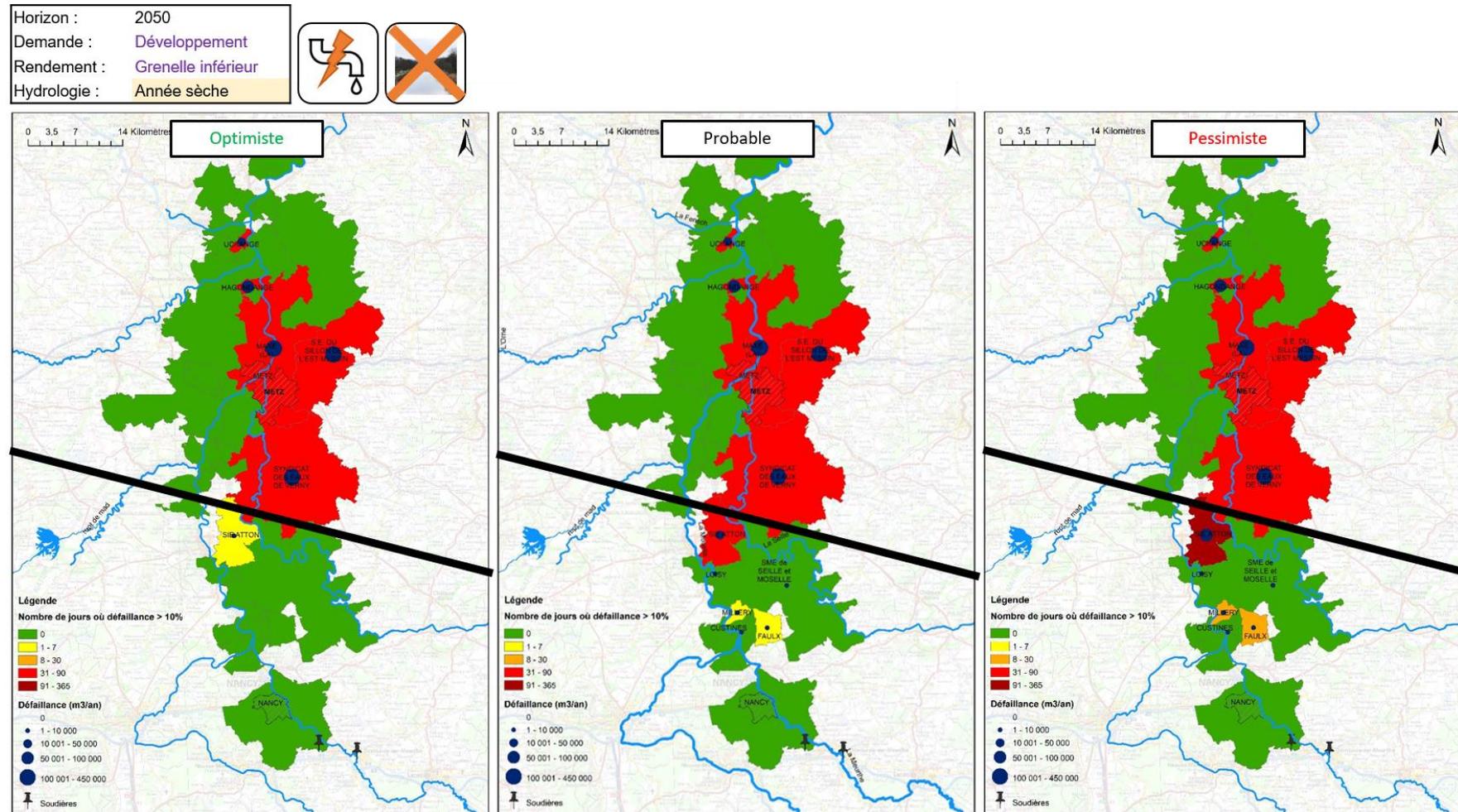


Figure 40 : Situations de défaillance de l'AEP à horizon 2050 dans le scénario de crise « Rupture de canalisation entre le Rupt de Mad et la station de Moulins », impact de l'incertitude. NB : la vulnérabilité des UGE du sud n'est pas liée à la crise.

Schéma exploratoire pour l'alimentation en eau potable des vallées de la Moselle et de la Meurthe

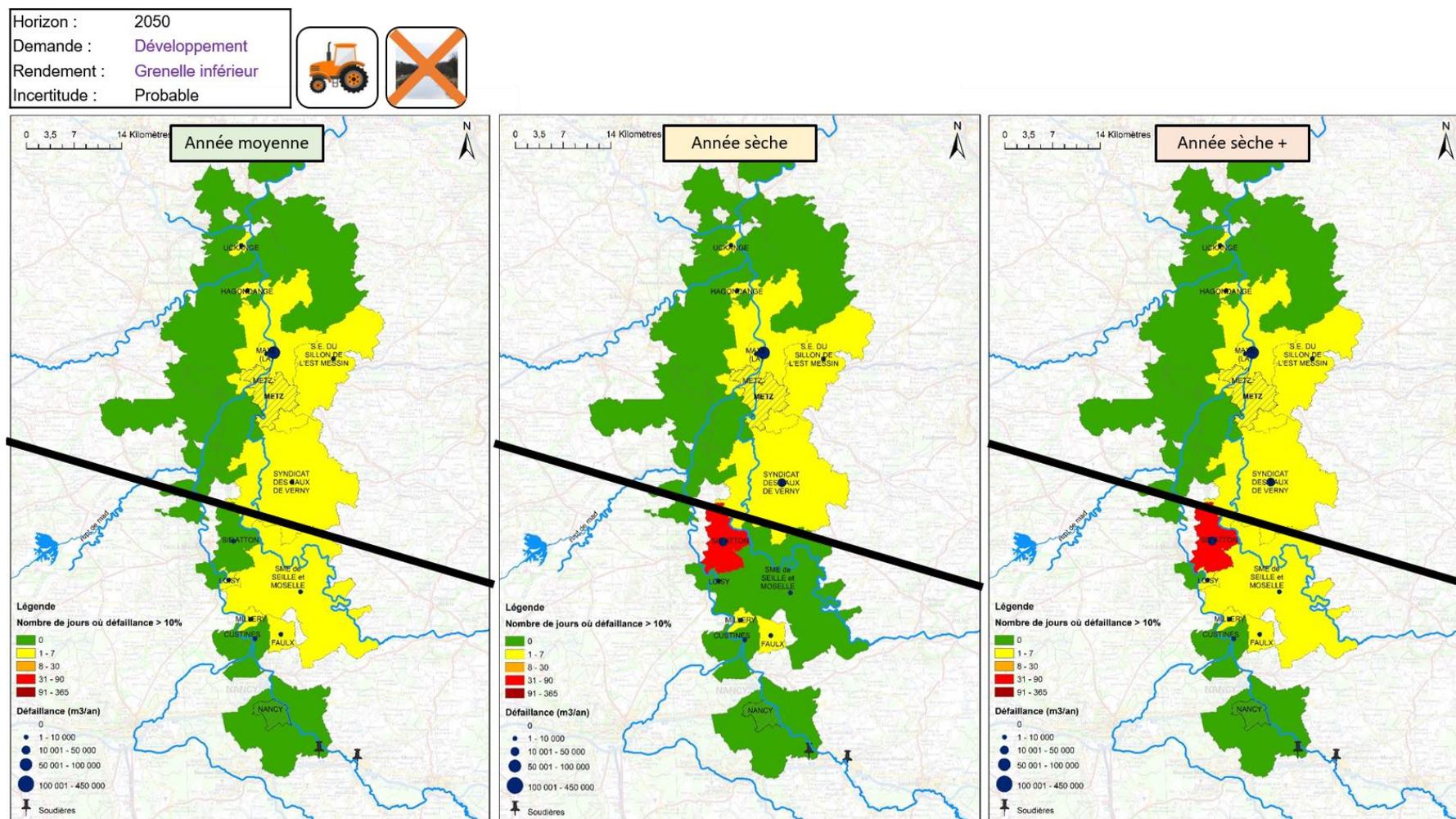


Figure 41 : Situations de défaillance de l'AEP à horizon 2050 dans le scénario de crise « Pollution aux nitrates sur le Rupt de Mad », impact de l'année hydrologique. (NB : la vulnérabilité des UGE du sud n'est pas liée à la crise.)

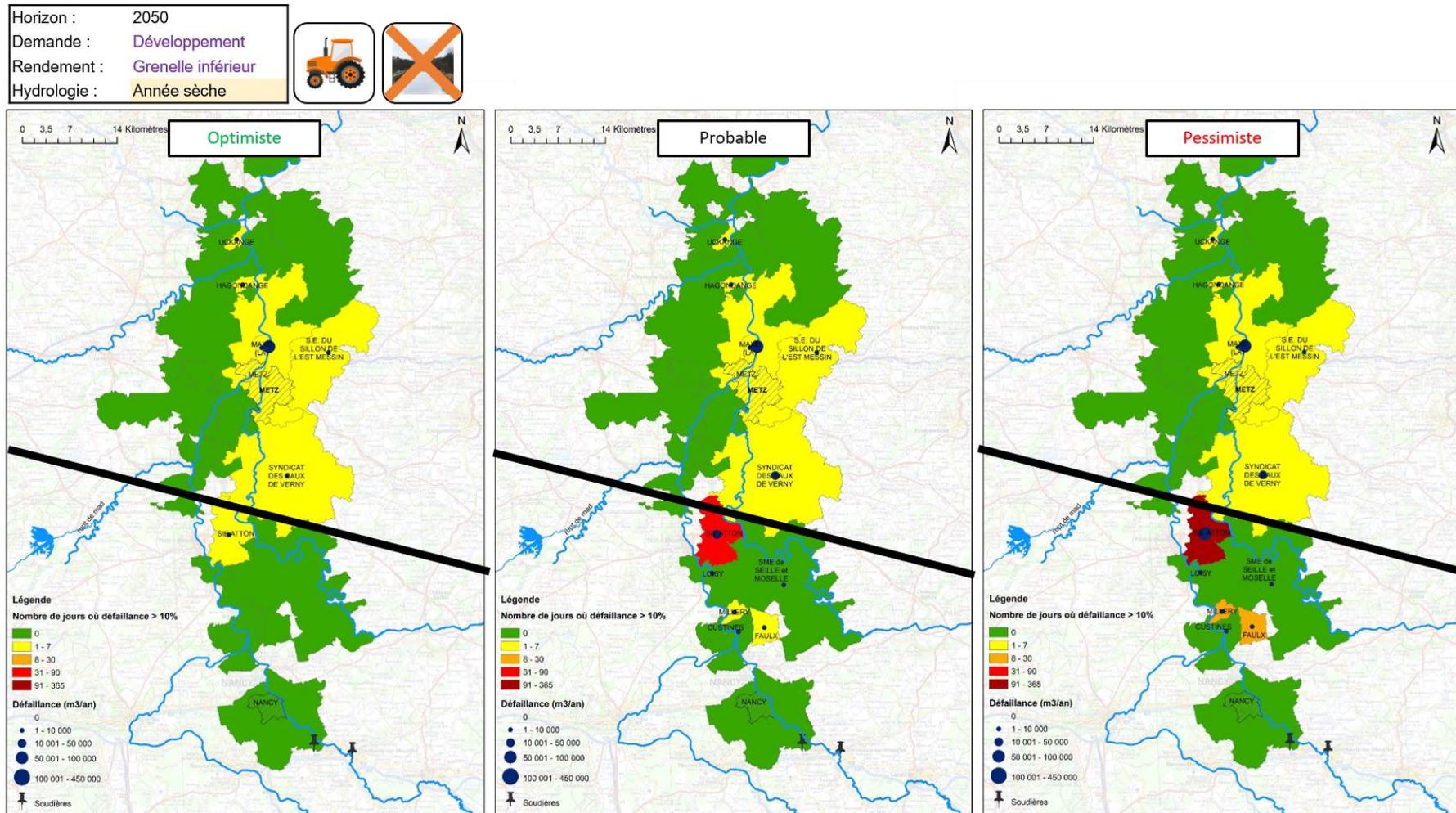


Figure 42 : Situations de défaillance de l'AEP à horizon 2050 dans le scénario de crise « Pollution aux nitrates sur le Rupt de Mad », impact de l'incertitude. (NB : la vulnérabilité des UGE du sud n'est pas liée à la crise.)

6.3. Impact des scénarios d'évolution des besoins en eau

Des scénarios volontaristes en termes de maîtrise des rendements des réseaux et de maîtrise de la demande peuvent être envisagés en tant que levier pour atténuer la vulnérabilité des UGE aux situations de défaillance de l'AEP. Cette section étudie l'impact de ces scénarios d'évolution des besoins en eau pour les zones identifiées comme vulnérables :

- la zone vulnérable aux scénarios de crise sur la ressource du Rupt de Mad ;
- la zone vulnérable en conditions normales autour d'Atton et de la boucle de Loisy.

a) Impact pour la zone vulnérable aux scénarios de crise sur la ressource du Rupt de Mad

La Figure 43 et la Figure 45 illustrent l'impact des scénarios d'évolution des besoins en eau (évolution de la demande et évolution des rendements des réseaux) face aux scénarios de crise « Rupture de canalisation » et « Pollution aux nitrates », respectivement.

Pour rappel, le scénario d'évolution de la demande noté « Environnement » résulte en une diminution de la demande de 20 % à horizon 2050 par rapport à 2015. Il se distingue du scénario « Développement » (- 9 % de demande en 2050) principalement par un effet très volontariste en termes d'économies d'eau dans le secteur domestique (Cf. section 5.1.1). Le scénario de rendement noté « Grenelle inférieur » résulte en un rendement moyen de 72 % sur l'ensemble du périmètre (au lieu de 80 % actuellement), tandis que le scénario « Grenelle supérieur », plus volontariste, résulte en un rendement de 85 % dans toutes les UGE (Tableau 11).

On compare l'impact de la crise en termes de défaillance de l'AEP : 1) dans le contexte « standard », 2) dans un contexte de politique volontariste de maîtrise des rendements des réseaux (rendement Grenelle « supérieur ») 3) dans un contexte de politique volontariste de maîtrise de la demande (« Environnement »), et 4) dans un contexte de politique volontariste de maîtrise à la fois des rendements et de la demande.

Pour rappel, les impacts relatifs aux scénarios de crise sur la ressource du Rupt de Mad concernent la partie nord du périmètre.

En ce qui concerne la crise « Rupture de canalisation entre le Rupt de Mad et Moulins », on constate que les impacts de la crise sont atténués par des scénarios volontaristes en termes de rendement et de maîtrise de la demande (Figure 43, partie nord du périmètre). Lorsque l'on combine les deux, rendement « Grenelle supérieur » et demande « Environnement », l'UGE de Metz ne subit plus que 7 jours de défaillance conséquente (avec 33 % de défaillance en moyenne) au lieu de 60 jours dans les conditions standard (avec 56 % de défaillance en moyenne). La défaillance est également significativement réduite pour les autres UGE impactées : 9 jours au lieu de 68 pour le Sillon de l'Est Messin (et un volume de défaillance divisé par 10), 20 jours au lieu de 68 pour La Maxe, 32 et 36 jours au lieu de 68 pour Uckange et Hagondange (avec un volume de défaillance divisé par 2). La crise est moins atténuée pour l'UGE de Verny, avec 60 jours de défaillance conséquente au lieu de 68, toutefois le volume de défaillance est tout de même divisé par 2. Le détail des chiffres pour ce scénario est présenté dans la Figure 44. Le volume total de défaillance lié à la crise est diminué de 76 % lorsque sont combinés les scénarios volontaristes en termes de rendement et de demande (Tableau 17) ; il est diminué de 33 % avec le scénario de rendement « Grenelle supérieur » seul, et de 49 % avec le scénario de demande « Environnement » seul, par rapport au scénario de crise en conditions « standard ».

Dans les conditions climatiques les plus défavorables (année « Sèche + », variante « Pessimiste »), la combinaison des scénarios volontaristes en termes de rendement et de demande permet également d'atténuer la défaillance de façon importante, avec un volume total de défaillance réduit à 196 000 m³ au lieu de 816 000 m³ (Tableau 17). En termes de défaillance journalière, la combinaison des scénarios volontaristes de maîtrise des rendements et de la demande réduit la défaillance à 12 740 m³/jour pendant les jours d'interruption totale de l'approvisionnement ayant lieu en été, au lieu de 20 470 m³/jour dans les conditions « standard » de demande et de rendement, et à 1 990 m³/jour pendant les jours de débit d'approvisionnement réduit, au lieu de 11 840 m³/jour.

En ce qui concerne la crise « Pollution aux nitrates sur le Rupt de Mad », seule l'UGE de Metz voit sa défaillance significativement atténuée par la combinaison des scénarios volontaristes en termes de rendement et de maîtrise de la demande. Elle subit toujours 5 jours de défaillance consécutive, mais le volume total de la défaillance est diminué presque de moitié, passant de 90 000 à 49 600 m³ (Figure 46, partie nord du périmètre). Les autres UGE touchées par la crise ne sont que plus faiblement impactées par les scénarios de maîtrise du rendement et de la demande. Au total, le volume total de défaillance lié à la crise est diminué de 37 % (soit 44 000 m³) lorsque sont combinés les scénarios volontaristes en termes de rendement et de demande (Tableau 18). Il est diminué de 10 % avec le scénario de rendement « Grenelle supérieur » seul, et de 26 % avec le scénario de demande « Environnement » seul. Dans les conditions climatiques les plus défavorables (année « Sèche + », variante « Pessimiste »), la combinaison des scénarios volontaristes en termes de rendement et de demande permet également d'atténuer la défaillance, avec un volume total de défaillance réduit à 77 000 m³ environ au lieu de 122 000 m³ (Tableau 18). En termes de défaillance journalière, la combinaison des scénarios volontaristes de maîtrise des rendements et de la demande réduit la défaillance à 15 120 m³/jour pendant les jours de pics de concentration en nitrates, au lieu 23 960 m³/jour dans les conditions « standard ».

b) Impact pour la zone vulnérable en conditions normales autour d'Atton et de la boucle de Loisy

On notera que les scénarios volontaristes en termes de maîtrise des rendements et de la demande permettent également de diminuer la vulnérabilité de la partie sud du périmètre, qui n'est pas impactée par la crise mais est déjà vulnérable en conditions normales (Figure 43, partie sud du périmètre).

Ainsi, lorsque sont combinés le scénario de rendement « Grenelle supérieur » et le scénario de demande « Environnement », les UGE de Millery, Loisy, Faulx, Custines et Seille et Moselle ne subissent plus de défaillance (Figure 44, partie sud du périmètre), et ce même dans le contexte climatique le plus défavorable (Figure 96 en Annexe 12, partie sud du périmètre, et Tableau 17). En diminuant les besoins en eau de ces UGE, il devient possible de satisfaire leur demande avec les ressources alternatives aux ressources fortement chlorurées existantes. En jouant sur le rendement seul (« Grenelle supérieur », Figure 43, carte en haut à droite, partie sud du périmètre), les UGE de Millery, Loisy, Faulx, Custines et Seille et Moselle ne subissent déjà plus de défaillance ; c'est également le cas en jouant sur la demande seule (« Environnement », Figure 43, carte en bas à gauche, partie sud du périmètre), sauf pour l'UGE de Faulx.

Pour l'UGE d'Atton par contre, la défaillance n'est que très peu atténuée par les scénarios de diminution des besoins en eau : elle subit toujours 88 jours de défaillance totale, même si le volume total de défaillance est diminué de 14 % (passant de 30 500 à 26 200 m³ environ, Cf. Tableau 17) en lien avec la diminution des besoins. En effet, on est dans une situation de dépendance totale d'Atton à une ressource dépassant fréquemment les seuils de concentrations en chlorures dans le scénario hydrologique à horizon 2050. Les jours où les seuils de concentrations en chlorures sont dépassés, la défaillance est totale quel que soit le niveau de besoins en eau de l'UGE.

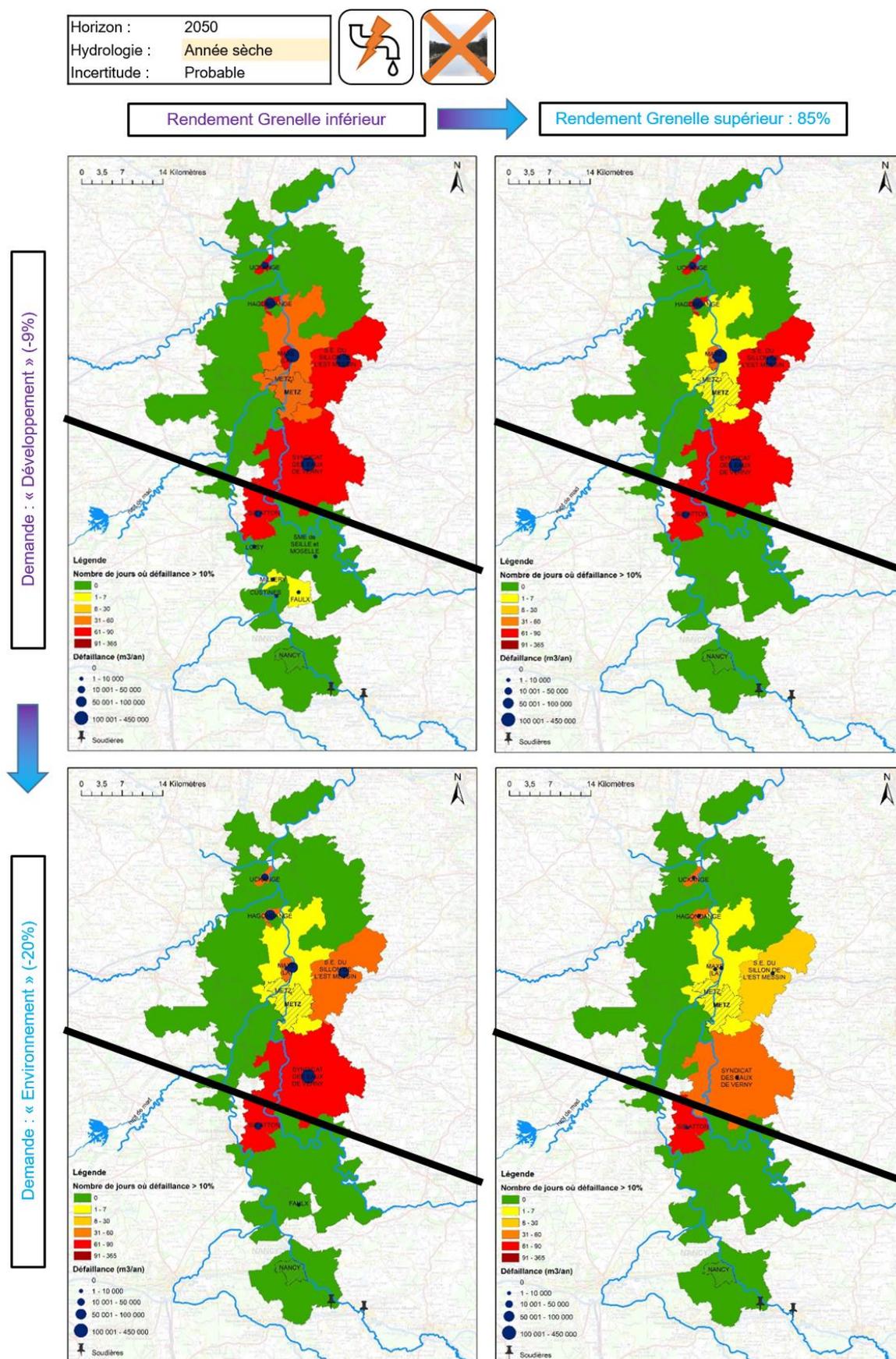


Figure 43 : Situations de défaillance de l'AEP à horizon 2050 dans le scénario de crise « Rupture de canalisation », impact des scénarios d'évolution des besoins en eau. Attention : l'échelle de couleur habituelle a été subdivisée afin de mieux faire apparaître les impacts des scénarios. L'ancienne catégorie « rouge » (31 à 90 jours) a été subdivisée entre une catégorie orange foncé (31 à 60 jours), et une catégorie rouge (61 à 90 jours).

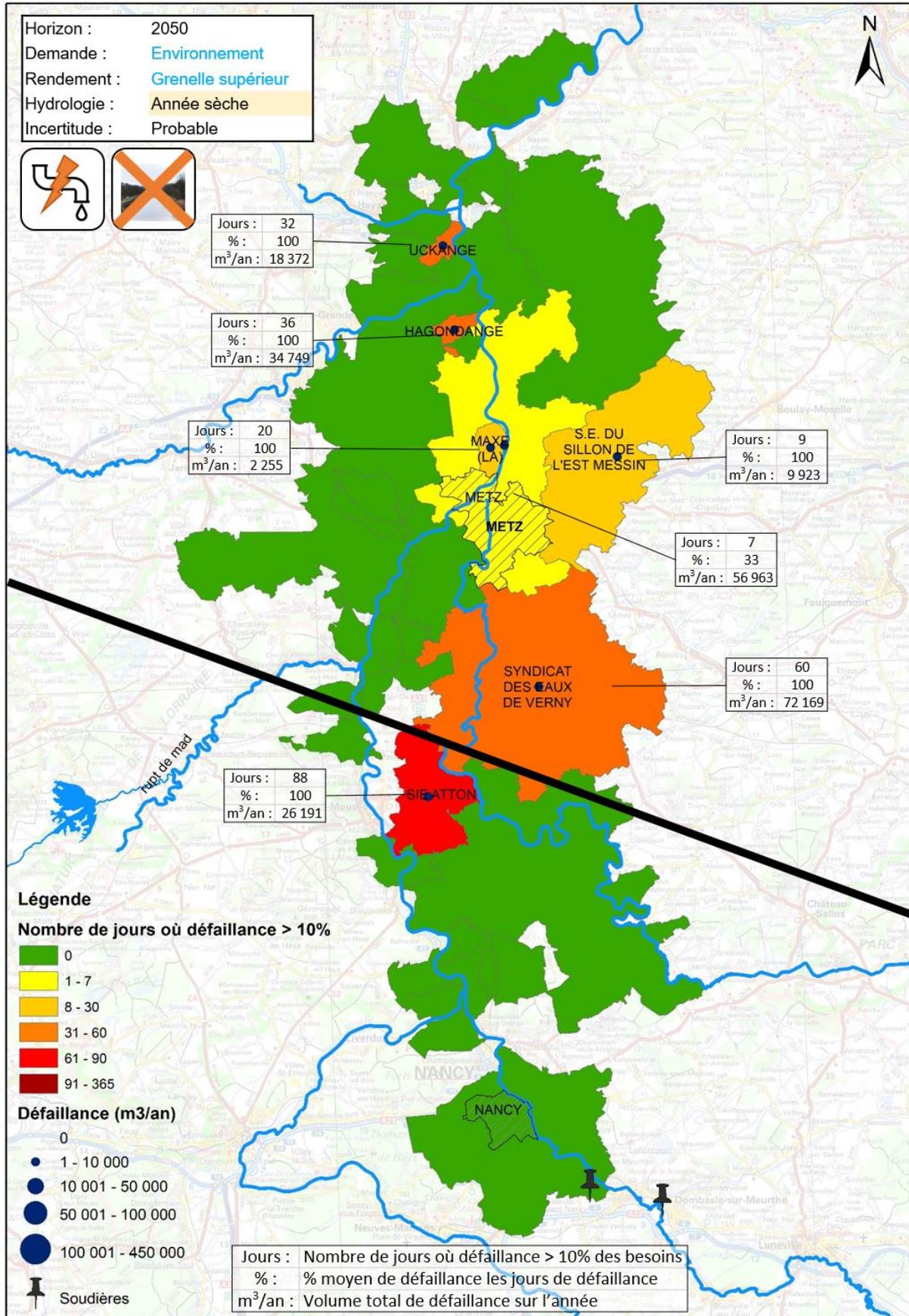


Figure 44 : Situations de défaillance de l'AEP à horizon 2050 dans le scénario de crise « Rupture de canalisation », dans le scénario de maîtrise de la demande et du rendement. **Attention** : l'échelle de couleur habituelle a été subdivisée afin de mieux faire apparaître les impacts des scénarios. L'ancienne catégorie « rouge » (31 à 90 jours) a été subdivisée entre une catégorie orange foncé (31 à 60 jours), et une catégorie rouge (61 à 90 jours).

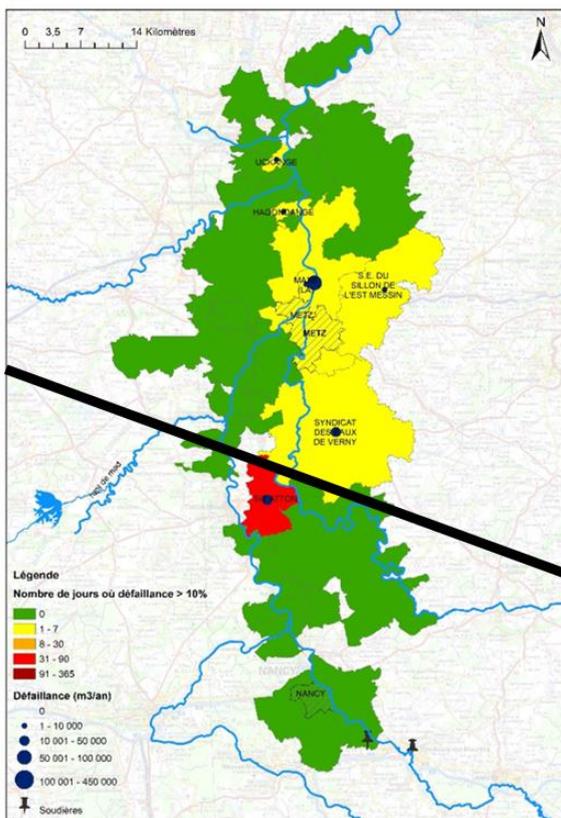
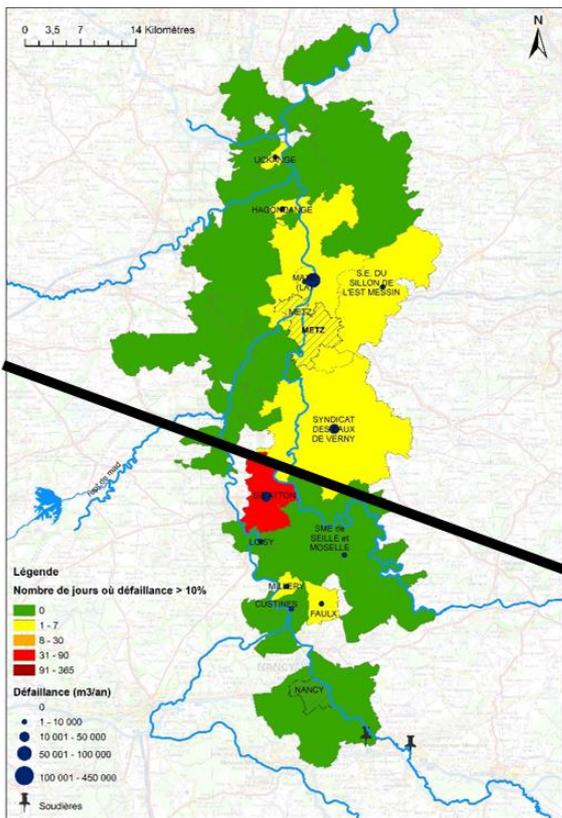
Schéma exploratoire pour l'alimentation en eau potable des vallées de la Moselle et de la Meurthe

Horizon : 2050
 Hydrologie : Année sèche
 Incertitude : Probable



Rendement Grenelle inférieur → Rendement Grenelle supérieur : 85%

Demande : « Développement » (-9%)



Demande : « Environnement » (-20%)

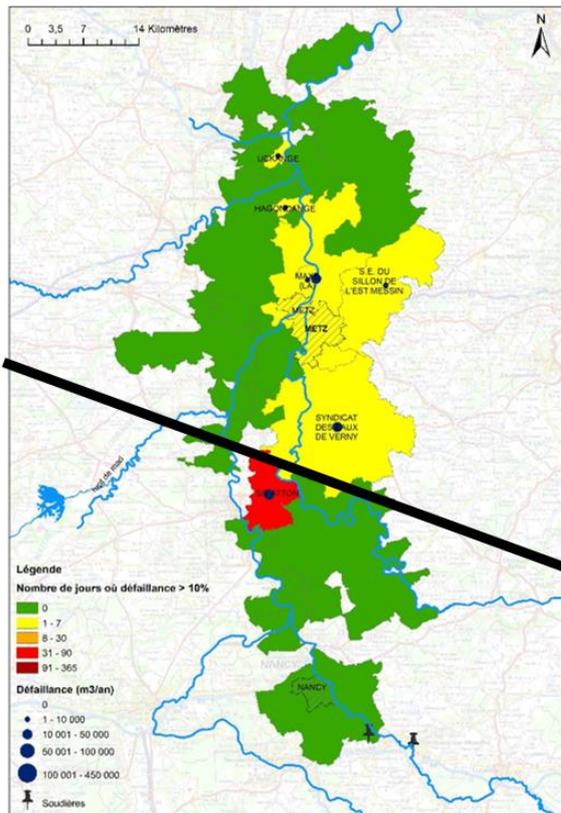
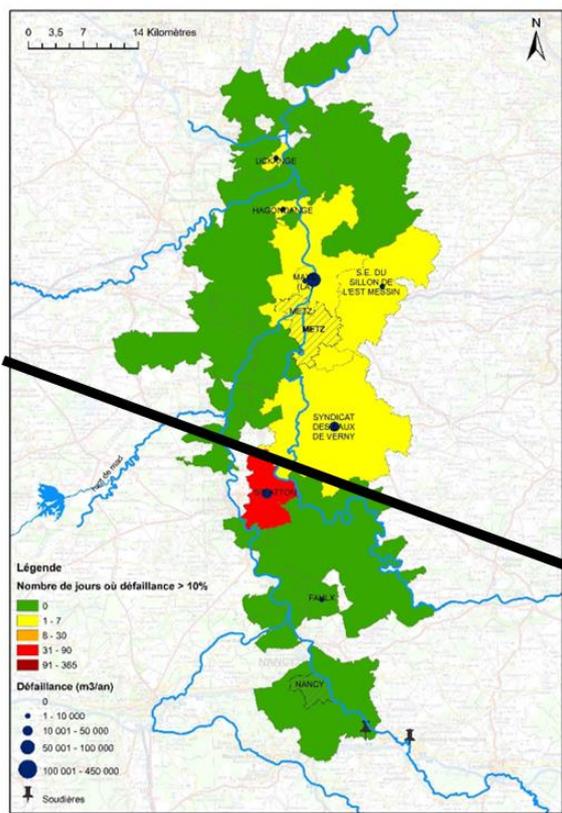


Figure 45 : Situations de défaillance de l'AEP à horizon 2050 dans le scénario de crise « Pollution aux nitrates », impact des scénarios d'évolution des besoins en eau. NB : la vulnérabilité des UGE du sud n'est pas liée à la crise.

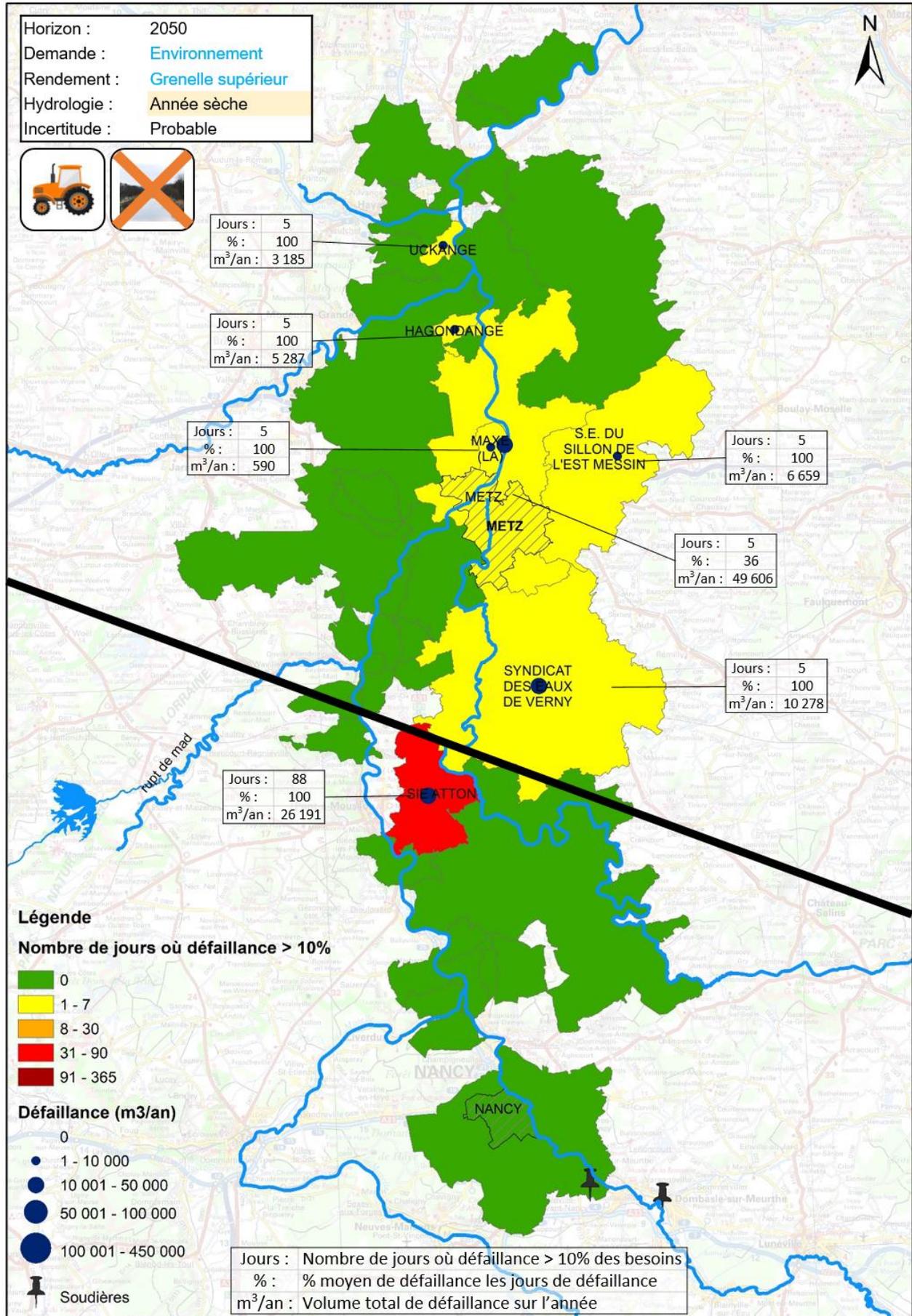


Figure 46 : Situations de défaillance de l'AEP à horizon 2050 dans le scénario de crise « Pollution aux nitrates », dans le scénario de maîtrise de la demande et du rendement. NB : la vulnérabilité des UGE du sud n'est pas liée à la crise.

6.4. Synthèse

La simulation de multiples scénarios à horizon 2050 avec le modèle du schéma AEP a permis :

- **d'identifier une zone vulnérable dans la moitié sud du périmètre d'étude, autour d'Atton et de la boucle de Loisy, liée à une dépendance aux alluvions dans une zone de concentrations en chlorures élevées.** Dans cette zone, l'intensité des situations de défaillance rencontrées est fortement affectée par l'incertitude.
- **de souligner une forte dépendance vis-à-vis de la ressource du Rupt de Mad dans la partie nord du périmètre d'étude, autour de l'UGE de Metz et des UGE achetant de l'eau à l'UGE de Metz.** Les ressources alternatives ne sont pas suffisantes pour compenser une crise sur la ressource du Rupt de Mad dans l'état actuel des infrastructures. De même, le secours du canal de Jouy reste insuffisant pour compenser entièrement la crise « Rupture de canalisation entre le Rupt de Mad et Moulins », d'autant que sa disponibilité en secours est incertaine étant donné les problèmes de qualité de l'eau du canal. Les impacts des scénarios de crise sur la ressource du Rupt de Mad sont atténués par des scénarios volontaristes en termes de maîtrise des rendements des réseaux et de maîtrise de la demande, mais cela reste insuffisant pour compenser entièrement la crise. L'intensité des situations de défaillance générées par les crises est peu affectée par le type d'année climatique ou par l'incertitude.

Les chiffres-clefs des résultats de la simulation des différents scénarios à horizon 2050 sont récapitulés dans l'Encadré 5. Les détails des résultats par UGE pour l'ensemble des scénarios simulés sont disponibles dans le Tableau 17 et le Tableau 18.

Encadré 5 : Résultats des simulations des scénarios à horizon 2050 : chiffres clefs

À horizon 2050 **en conditions normales** :

- **6 UGE** vulnérables (9 dans les conditions climatiques les plus défavorables), pour une population de **18 000 habitants** environ (35 000 dans les conditions climatiques les plus défavorables) ;
- un volume total de défaillance de **3 300 à 62 000 m³** sur l'année, selon l'année hydrologique et l'incertitude (**forte incertitude** liée à l'incertitude sur le nombre de jours de dépassement des seuils de concentrations en chlorures) ;
- Atton est l'UGE la plus vulnérable (car totalement dépendante des alluvions dans une zone de concentrations en chlorures élevées), avec une défaillance d'environ **345 m³/jour** les jours de dépassement des seuils ;
- la combinaison de scénarios volontaristes en termes de maîtrise des rendements et de la demande permet de réduire le volume total de défaillance de **15 %**. L'UGE d'Atton est toujours vulnérable, en lien avec son approvisionnement mono-ressource.

À horizon 2050 dans le cas du scénario de crise « **rupture de canalisation entre le Rupt de Mad et Moulins** » :

- **6 UGE** vulnérables, pour une population de **216 000 habitants** environ ;
- un volume total de défaillance de **773 000 à 816 000 m³** sur toute la durée de la crise, selon l'année hydrologique et l'incertitude (**faible incertitude**) ;
- une défaillance de **20 470 m³/jour** pendant la période d'interruption totale ayant lieu en été, et de **11 840 m³/jour** pendant la période de débit d'approvisionnement réduit ;
- si l'eau du canal de Jouy était de qualité suffisante pour être utilisée en secours pendant l'intégralité de la crise, le volume total de la défaillance serait réduit de **84 %** ;
- la combinaison de scénarios volontaristes en termes de maîtrise des rendements et de la demande permet de réduire le volume total de défaillance de **76 %** (maîtrise des rendements seuls : - **33 %**, pour des rendements de 85 %¹⁵ ; maîtrise de la demande seule : - **49 %**, pour une demande diminuée de 22 % par rapport à 2015¹⁶). En combinant les scénarios volontaristes en termes de rendement et de demande, la défaillance journalière est réduite à **12 740 m³/jour** pendant les jours d'interruption totale, et **1 990 m³/jour** pendant les jours de débit d'approvisionnement réduit.

À horizon 2050 dans le cas du scénario de crise « **pollution aux nitrates sur le Rupt de Mad** » :

- **6 UGE** vulnérables, pour une population de **216 000 habitants** environ ;
- Un volume total de défaillance de **116 000 à 122 000 m³** sur toute la durée de la crise, selon l'année hydrologique et l'incertitude (**faible incertitude**) ;
- Une défaillance de **23 960 m³/jour** pendant les jours de pics de concentrations en nitrates ayant lieu pendant l'été.

¹⁵ Au lieu d'un rendement de 72% en moyenne sur la zone (scénario « Grenelle inférieur ») pour le scénario de référence « standard ».

¹⁶ Au lieu d'une demande diminuée de 9% par rapport à 2015 (scénario « Environnement ») pour le scénario de référence « standard ».

- Si l'eau du canal de Jouy était de qualité suffisante pour être utilisée secours pendant l'intégralité de la crise (en particulier, exempte de nitrates), la défaillance serait **entièrement compensée** ;
- La combinaison de scénarios volontaristes en termes de maîtrise des rendements et de la demande permet de réduire le volume total de défaillance de **37 %** (maîtrise des rendements seuls : **-10 %**, pour des rendements de 85%¹⁵ ; maîtrise de la demande seule : **- 26 %**, pour une demande diminuée de 20 % par rapport à 2015¹⁶). En combinant les scénarios volontaristes en termes de rendement et de demande, la défaillance journalière est réduite à **15 120 m³/jour** pendant les jours de pics de concentration en nitrates.

Schéma exploratoire pour l'alimentation en eau potable des vallées de la Moselle et de la Meurthe

Scénario	Crise :	Rupture de canalisation entre le Rupt de Mad et Moulins													
		Hydrologie :	Année sèche		Année moyenne	Année sèche +	Année sèche					Année sèche +			
		Incertitude :	Probable	Optimiste	Pessimiste	Probable	Probable					Pessimiste			
		Demande :	Développement	Développement		Développement	Environnement	Développement	Environnement	Développement	Environnement	Développement	Environnement	Développement	
		Rendement :	Grenelle inférieur	Grenelle inférieur		Grenelle inférieur	Grenelle inf.	Grenelle sup.	Grenelle sup.	Grenelle inf.	Grenelle sup.	Grenelle inf.	Grenelle sup.	Grenelle inf.	
Canal Jouy :	non	non		non	non					oui					
METZ	Jours :	60	60	60	60	60	7	7	7	7	7	60	7	7	
	% :	53	53	53	53	53	42	44	33	47	34	53	33	52	
	m ³ /an	422 374	422 374	422 374	422 374	422 374	98 531	186 457	56 963	89 876	56 203	422 374	56 963	102 264	
	S.E. DU SILLON DE L'EST MESSIN	Jours :	68	68	68	68	68	60	62	9	7	7	68	45	7
		% :	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
		m ³ /an	103 083	103 083	103 083	103 083	103 083	79 040	92 151	9 923	9 830	8 453	103 083	14 465	9 830
	SYNDICAT DES EAUX DE VERNY	Jours :	68	68	68	68	68	68	68	60	7	7	68	60	7
		% :	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
		m ³ /an	153 440	112 106	153 440	115 058	153 440	133 133	142 721	72 169	14 232	12 649	153 440	53 817	14 232
	UCKANGE	Jours :	68	68	68	68	68	60	62	32	7	7	69	23	8
% :		100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
m ³ /an		47 448	47 448	47 448	47 448	47 448	37 673	43 680	18 372	4 397	3 916	48 076	10 470	5 025	
HAGONDANGE	Jours :	68	68	68	68	68	60	66	36	7	7	69	61	8	
	% :	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
	m ³ /an	79 111	79 111	79 111	79 111	79 111	62 517	75 537	34 749	7 313	6 477	80 155	59 472	8 357	
MAXE (LA)	Jours :	68	68	68	68	68	60	60	20	7	7	69	8	8	
	% :	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
	m ³ /an	8 839	8 839	8 839	8 839	8 839	6 972	7 905	2 255	817	722	8 956	825	934	
TOTAL (nord)	m³/an	814 295	772 961	814 295	775 913	814 295	417 866	548 450	194 431	126 464	88 420	816 085	196 013	140 643	
Ecart à la situation "standard"		0%	-5%	0%	-5%	0%	-49%	-33%	-76%	-84%	-89%	0%	-76%	-83%	
SIE ATTON	Jours :	88	5	183	-	41	88	88	88	88	88	153	153	153	
	% :	100	100	100	9	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
	m ³ /an	30 476	4 339	59 542	2 764	15 261	26 191	30 296	26 191	30 476	26 191	49 401	40 270	49 401	
	SME de SEILLE et MOSELLE	Jours :	-	-	-	1	1	-	-	-	-	3	3	3	
		% :	7	7	7	19	19	-	-	-	7	-	19	19	
		m ³ /an	93	-	1 118	385	1 970	-	-	-	93	-	7 400	7 400	
	LOISY	Jours :	-	-	-	1	1	-	-	-	-	3	3	3	
		% :	9	9	9	21	21	-	-	-	9	-	21	21	
		m ³ /an	5	5	64	20	110	-	-	-	5	-	415	415	
	MILLERY	Jours :	7	-	21	2	2	-	-	-	7	-	15	15	
% :		33	33	33	33	33	-	-	-	33	-	33	33		
m ³ /an		219	219	656	63	63	-	-	-	219	-	469	469		
FAULX	Jours :	7	-	21	2	2	-	-	-	7	-	15	15		
	% :	15	15	15	15	15	1	-	-	15	-	15	15		
	m ³ /an	176	176	553	55	300	12	-	-	176	-	1 043	1 043		
CUSTINES	Jours :	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
	% :	1	1	1	1	1	-	-	-	1	-	1	1		
	m ³ /an	15	15	45	4	4	-	-	-	15	-	32	32		
Total (sud)	m³/an	30 984	4 339	61 979	3 290	17 707	26 203	30 296	26 191	30 984	26 191	58 760	40 270	58 760	
Ecart à la situation "standard"		0%	-86%	100%	-89%	-43%	-15%	-2%	-15%	0%	-15%	90%	30%	90%	
TOTAL	m³/an	845 279	777 300	876 274	779 203	832 002	444 069	578 746	220 622	157 449	114 611	874 845	236 282	199 403	

Tableau 17 : Situations de défaillance en cas de rupture de la canalisation entre le Rupt de Mad et la station de Moulins, pour différents scénarios. Le scénario encadré est le scénario « standard ». Sont précisés : « Jours » : nombre de jours où défaillance > 10 % de la demande ; « % » : taux moyen de défaillance (en % de la demande) les jours où il y a défaillance ; « m³/an » : défaillance totale annuelle (demande totale n'ayant pu être satisfaite). NB : la vulnérabilité des UGE du sud n'est pas liée à la crise.

Schéma exploratoire pour l'alimentation en eau potable des vallées de la Moselle et de la Meurthe

Scénario	Crise :	Pollution aux nitrates sur le Rupt de Mad														
		Hydrologie :	Année sèche			Année moyenne	Année sèche +	Année sèche				Année sèche +				
		Incertitude :	Probable	Optimiste	Pessimiste	Probable			Probable				Pessimiste			
		Demande :	Développement	Développement		Développement			Environnement	Développement	Environnement	Développement	Développement	Environnement	Développement	
Rendement :	Grenelle inférieur	Grenelle inférieur		Grenelle inférieur			Grenelle inf.	Grenelle sup.	Grenelle sup.	Grenelle inf.	Grenelle inf.	Grenelle sup.	Grenelle inf.			
Canal Jouy :	non	non			non			non				oui	non		oui	
UGE impactées par la crise	METZ	Jours :	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
		% :	57	57	57	57	57	45	49	36		57	36			
		m3/an	90 236	90 236	90 236	90 236	90 236	63 015	77 780	49 606		90 236	49 606			
	S.E. DU SILLON DE L'EST MESSIN	Jours :	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
		% :	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
		m3/an	7 738	7 738	7 738	7 738	7 738	6 659	7 738	6 659		7 738	6 659			
	SYNDICAT DES EAUX DE VERNY	Jours :	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
		% :	100	68	100	68	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
		m3/an	11 598	7 908	11 598	7 908	11 598	10 278	11 598	10 278		11 598	10 278			
	UCKANGE	Jours :	5	5	5	5	5	5	5	5	5	6	6	1		
% :		100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100		
m3/an		3 587	3 587	3 587	3 587	3 587	3 185	3 587	3 185		4 216	3 742	628			
HAGONDANGE	Jours :	5	5	5	5	5	5	5	5	5	6	6	1			
	% :	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100		
	m3/an	5 985	5 985	5 985	5 985	5 985	5 287	5 985	5 287		7 030	6 209	1 045			
MAXE (LA)	Jours :	5	5	5	5	5	5	5	5	5	6	6	1			
	% :	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100		
	m3/an	669	669	669	669	669	590	669	590		785	692	117			
TOTAL (nord)	m3/an	119 813	116 123	119 813	116 123	119 813	89 013	107 357	75 604	-	121 603	77 185	1 790			
Ecart à la situation "standard"		0%	-3%	0%	-3%	0%	-26%	-10%	-37%	-100%	1%	-36%	-99%			
UGE non impactées par la crise	SIE ATTON	Jours :	88	5	183	-	41	88	88	88	88	153	153	153		
		% :	100	100	100	9	100	100	100	100	100	100	100	100		
		m3/an	30 476	4 339	59 542	2 764	15 261	26 191	30 296	26 191	30 476	49 401	40 270	49 401		
	SME de SEILLE et MOSELLE	Jours :	-	-	-	1	1	-	-	-	-	3	3	3		
		% :	7	7	7	19	19				7	19		19		
		m3/an	93		1 118	385	1 970				93	7 400		7 400		
	LOISY	Jours :	-	-	-	1	1	-	-	-	-	3	3	3		
		% :	9	9	9	21	21				9	21		21		
		m3/an	5		64	20	110				5	415		415		
	MILLERY	Jours :	7	21	2	2	2	-	-	-	7	15	15	15		
% :		33	33	33	33	33				33	33		33			
m3/an		219	656	63	63	63				219	469		469			
FAULX	Jours :	7	21	2	2	2	-	-	-	7	15	15	15			
	% :	15	15	15	15	15	1			15	15		15			
	m3/an	176	553	55	300	12				176	1 043		1 043			
CUSTINES	Jours :	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
	% :	1	1	1	1	1				1	1		1			
	m3/an	15	45	4	4	4				15	32		32			
Total (sud)	m3/an	30 984	4 339	61 979	3 290	17 707	26 203	30 296	26 191	30 984	58 760	40 270	58 760			
Ecart à la situation "standard"		0%	-86%	100%	-89%	-43%	-15%	-2%	-15%	0%	90%	30%	90%			
TOTAL	m3/an	150 798	120 462	181 792	119 413	137 521	115 216	137 653	101 795	30 984	180 363	117 455	60 550			

Tableau 18 : Situations de défaillance en cas de pollution aux nitrates sur le Rupt de Mad, pour différents scénarios. Le scénario encadré est le scénario « standard ». Sont précisés : « Jours » : nombre de jours où défaillance > 10% de la demande ; « % » : taux moyen de défaillance (en % de la demande) les jours où il y a défaillance ; « m³/an » : défaillance totale annuelle (demande totale n'ayant pu être satisfaite).

NB : la vulnérabilité des UGE du sud n'est pas liée à la crise.

7. Conclusions

L'objectif de l'étude était de diagnostiquer et anticiper les éventuelles vulnérabilités du schéma d'approvisionnement en eau potable sur l'axe mosellan face à la problématique chlorures à horizon 2050, en considérant le changement climatique. La démarche mise en œuvre s'est appuyée sur la modélisation, afin de pouvoir explorer les impacts de différents scénarios (climatiques, d'évolution des besoins en eau, et de crise), à l'échelle du périmètre dans son ensemble, en tenant compte de l'ensemble des ressources et infrastructures existantes et des interconnexions existant entre les UGE. Une analyse hydrogéologique a été réalisée afin de produire des scénarios d'évolution des concentrations en chlorures dans les alluvions sous changement climatique. Une difficulté à laquelle l'analyse hydrogéologique s'est confrontée est la faible fréquence des données de concentrations en chlorures dans les eaux souterraines sur certains secteurs. Une analyse de l'incertitude associée à cette faible fréquence des données a donc été réalisée, afin de prendre en compte l'impact de l'incertitude sur les résultats. La démarche a également mobilisé l'expertise des acteurs du territoire, d'une part pour collecter les informations nécessaires et les valider et d'autre part pour co-construire les différents scénarios à explorer, de façon à produire des résultats pertinents.

Pour rappel, les scénarios explorés dans la présente étude sont à réglementation et modulation des rejets des soudières inchangées, car les données disponibles n'étaient pas suffisantes pour pouvoir modéliser et simuler différents scénarios d'évolution des rejets.

Malgré les limites identifiées de l'approche (incertitude liée à la faible fréquence des données de concentrations en chlorures), la modélisation du schéma AEP et la simulation de multiples scénarios à horizon 2050 a permis de mettre en évidence un certain nombre de résultats.

En conditions normales à horizon 2050 (i.e. hors crise):

Les résultats montrent l'existence d'une **zone vulnérable** dans la moitié sud du périmètre d'étude, **autour d'Atton et de la boucle de Loisy** (Section 6.1.1). Cette vulnérabilité est liée à une dépendance de l'AEP aux alluvions de la Moselle dans une zone de concentrations en chlorures élevées, en particulier pour l'UGE d'Atton. Dans cette zone, l'intensité des situations de défaillance attendues est fortement affectée par l'incertitude (Section 6.1.2). L'incertitude quant à la prévision du nombre de jours de dépassements des seuils de concentrations en chlorures se traduit en effet par une incertitude quant au nombre de jours de défaillance. Toutefois, les résultats s'accordent quant à l'identification de la vulnérabilité de cette zone, soulignant un besoin de sécurisation pérenne. Des scénarios volontaristes de maîtrise des rendements (politique de gestion patrimoniale) et/ou de maîtrise de la demande (installation d'équipements hydro-économiques, évolution des comportements, etc.) peuvent permettre d'atténuer ou résorber les situations de défaillance dans les UGE modérément vulnérables (Section b)6.3.b)), dépendantes des alluvions mais disposant également de ressources alternatives. Par contre, ils ne peuvent pas être suffisants pour l'UGE d'Atton, qui dépend entièrement des alluvions et pour laquelle une autre solution de sécurisation complémentaire est donc dans tous les cas nécessaire face aux dépassements des seuils de concentration en chlorures dans les alluvions.

Les résultats montrent l'absence de situations de défaillance de l'AEP dans le nord et dans l'extrême sud du périmètre en conditions standard à horizon 2050 (Section 6.1.1.b)). Seuls quelques points de vulnérabilité apparaissent dans le cas du scénario climatique le plus défavorable (Section 6.1.2), mais ils restent circonscrit à des UGE entièrement dépendantes des alluvions pour l'AEP, et sont limités en termes de durée (1 seul jour de défaillance, à mettre au regard des capacités de stockage des réservoirs). Toutefois, les résultats montrent que les infrastructures de production sont fortement sollicitées durant la période d'étiage. À infrastructures actuelles, la zone nord du périmètre dispose donc de relativement peu de marge de manœuvre pour s'adapter en cas de problème.

En conditions de crise touchant la ressource du Rupt de Mad, à horizon 2050 :

Les simulations de scénarios de crise touchant la ressource du Rupt de Mad ont montré qu'une partie du **nord du périmètre** (UGE de Metz et UGE s'approvisionnant auprès de l'UGE de Metz) est **fortement dépendante de la ressource du Rupt de Mad** (Section 6.2). Les ressources alternatives ne sont pas suffisantes pour compenser une crise sur la ressource du Rupt de Mad dans l'état actuel des infrastructures. Un besoin de sécurisation en secours apparaît nécessaire.

L'intensité des situations de défaillance générées par les crises est peu affectée par le type d'année climatique ou l'incertitude (Section 6.2.3). Il est donc possible de la quantifier de façon relativement fiable. Ainsi, dans le cas du scénario de crise « Rupture de canalisation entre le Rupt de Mad et l'usine de Moulins » (Section 5.3.1), les besoins de sécurisation sont de l'ordre de 20 470 m³/jour pendant la période d'interruption totale, et de 11 840 m³/jour pendant la période transitoire de débit réduit. Dans le cas du scénario de crise « Pollution aux nitrates sur le Rupt de Mad » (Section 5.3.2), les besoins de sécurisation sont de 23 960 m³/jour lors des pics de concentration en nitrates (100 mg/l) ayant lieu pendant l'été.

À noter que deux leviers pouvant être actionnés pour atténuer ces situations de crise ont d'ores et déjà été considérés dans la présente étude. Premièrement, la disponibilité de la prise d'eau de secours sur le canal de Jouy (Section 0) a été considérée. Elle permettrait d'atténuer les situations de défaillance en cas de crise sur la ressource du Rupt de Mad (Section 6.2.1.b) et Section 6.2.2.b)). Toutefois, le secours du canal de Jouy reste insuffisant pour compenser entièrement la crise « Rupture de canalisation entre le Rupt de Mad et Moulins ». De plus, sa disponibilité en secours pour l'AEP est incertaine étant donné les problèmes de qualité de l'eau du canal (chlorures, nitrates, et vulnérabilité aux pollutions ponctuelles accidentelles).

Deuxièmement, des scénarios de maîtrise des besoins en eau (Section 5.1) ont été simulés. Les impacts des scénarios de crise sur la ressource du Rupt de Mad sont atténués par des scénarios volontaristes en termes de maîtrise de la demande et des rendements des réseaux (Section 6.3). Cela reste cependant insuffisant pour compenser entièrement la crise. Ainsi, même avec des scénarios ambitieux de maîtrise des rendements (rendements de 85%) et de maîtrise de la demande (diminution du ratio de consommation par habitant de 22 % par rapport à 2015), il reste un besoin de sécurisation résiduel en secours pour la zone dépendante de la ressource du Rupt de Mad en cas de crise sur cette ressource.

On identifie donc des **besoins de sécurisation de l'AEP** sur le périmètre, d'une part de façon pérenne pour les UGE dépendantes des alluvions de la Moselle dans des zones de concentrations en chlorures élevées, et d'autre part en secours pour les UGE vulnérables à une crise sur la ressource du Rupt de Mad.

Pistes envisagées pour la sécurisation de l'AEP sur le périmètre

Les résultats de la simulation des différents scénarios ont été mis en débat auprès du groupe de travail, faisant apparaître un certain nombre d'éléments partagés par les acteurs quant aux pistes de sécurisation de l'AEP sur le périmètre.

Tout d'abord, il apparaît nécessaire d'**éviter les situations d'approvisionnement mono-ressources**, qui sont très vulnérables. Pour cela, une solution de sécurisation mise en avant est l'**interconnexion**, déjà développée sur le périmètre d'étude. Des pistes d'interconnexion sont ainsi déjà envisagées pour le secteur des champs captants d'Atton et de Loisy (Egis Eau, 2012), comme le raccordement Grand Nancy-Grand Couronné-SIE de Seille et Moselle-SIE d'Atton, qui générerait une capacité de fourniture additionnelle d'environ 3000 m³/jour. Une autre interconnexion envisagée pour sécuriser Atton est le raccordement au réseau de distribution de Pont à Mousson, en rive droite de la Moselle, avec une capacité d'environ 600 m³/jour. À noter tout de même que de façon générale les interconnexions peuvent trouver leur limite dans la fragilité des autres ressources face à d'autres pressions (disponibilité en étiage sous changement climatique, pollutions diffuses agricoles, etc.).

Ainsi, il est important de s'assurer de la **préservation des ressources alternatives** non chlorurées existantes, en particulier la ressource du Rupt de Mad dont dépend une grande partie du périmètre. Cela passe d'une part par la sécurisation de l'infrastructure de mobilisation de ces ressources vis-à-vis des risques d'interruption de l'approvisionnement (ex : risque de rupture de canalisation suite à un glissement de terrain entre la prise d'eau d'Arnaville sur le Rupt de Mad et la station de traitement de Moulins). D'autre part, il s'agit de préserver la qualité de ces ressources, notamment vis-à-vis des pollutions diffuses agricoles qui concernent la ressource du Rupt de Mad, mais aussi les alluvions de la Moselle dans la zone de Yutz, le canal de Jouy, etc.

Par ailleurs, **deux gisements de ressources complémentaires** pourraient être mobilisés à l'avenir. D'une part, les ressources en amont de la confluence Moselle-Meurthe et des soudières, notamment en lien avec le projet de prise d'eau sur la Meurthe en amont des soudières pour diversifier l'approvisionnement du Grand Nancy, qui va augmenter les capacités de productions. Il serait possible d'envisager des scénarios de sécurisation à partir de cette ressource, notamment pour la zone vulnérable du sud du périmètre, via des interconnexions au-delà de la métropole. D'autre part, les ressources du bassin ferrifère pourraient être plus sollicitées à l'avenir. En effet, certains ouvrages ne sont pas utilisables aujourd'hui en raison de concentrations élevées en sulfates (ex : forages de Route Blanche). Or, les travaux scientifiques montrent que dans la majeure partie du bassin nord les concentrations en sulfate vont diminuer et passer sous les seuils avant 2050 (Vaute et al., 2013) ; ces ressources seront alors exploitables pour l'AEP. L'UGE du Fensch Lorraine notamment sera alors en mesure d'augmenter ses capacités de production à partir de la ressource du bassin ferrifère. La ressource du bassin ferrifère pourrait ainsi être sollicitée pour sécuriser l'UGE de Metz et les UGE dépendantes d'achats d'eau à l'UGE de Metz, via des interconnexions.

À noter que les scénarios de maîtrise des rendements des réseaux et/ou de maîtrise de la demande permettent de réduire les besoins de sécurisation (Encadré 5). Des politiques volontaristes en ce sens (gestion patrimoniale, installation d'équipements hydro-économiques, évolution des comportements, etc.) permettraient donc de réduire le dimensionnement des solutions de sécurisation à mettre en place. Dans la zone vulnérable autour de la boucle de Loisy (UGE de Seille et Moselle, Loisy, Millery, Faulx et Custines), elles pourraient même être suffisantes pour éviter les situations de défaillances (sauf pour l'UGE d'Atton).

La réalimentation de captages par des ressources de bonne qualité durant la période de hautes eaux afin de réduire les concentrations en chlorures est une option technique qui a été mentionnée lors de la réunion du groupe de travail de février 2019. Cependant, les acteurs soulignent qu'il s'agit d'une option compliquée et aux effets incertains dans un contexte de méconnaissance du fonctionnement hydrogéologique des zones de captage. Des études complémentaires en ce sens pourraient être menées pour évaluer le potentiel de tels dispositifs.

Perspectives

Pour aller plus loin dans l'évaluation et l'anticipation des impacts de la problématique chlorures pour l'AEP sur l'axe mosellan, il apparaît nécessaire d'améliorer les connaissances sur la qualité des eaux de la nappe alluviale. Cela permettrait de diminuer l'incertitude quant aux niveaux de concentrations en chlorures dans les eaux souterraines à l'avenir.

Pour affiner le schéma conceptuel de la contamination en Cl des eaux souterraines (ESO) et mieux comprendre leurs dynamiques au cours du temps, il serait nécessaire de compléter le suivi actuel par 4 types de suivis :

- un suivi continu à Hautes fréquences des débits et des concentrations des affluents les plus contaminés de la Moselle, et notamment le Sânon ;
- un suivi à plus hautes fréquences (hebdomadaire) des ESO en ciblant les points « chauds » identifiés par la présente étude ; en particulier la zone autour d'Atton et de la boucle de Loisy, identifiée comme vulnérable, où il existe une incertitude quant à l'intensité des situations de défaillance (voir Section 6.1.2) liée à la faible fréquence des observations ;
- un suivi sur stations de prélèvements pour statuer sur l'impact des pompages sur la qualité de la ressource ;
- un suivi des rejets des soudières par un organisme indépendant.

Afin de mieux caractériser l'origine de la contamination des eaux de surface, une approche isotopique pourrait amener des éléments pour différencier la part anthropique issue des rejets des soudières de la part anthropique issue du lessivage des anciens sites industriels, et de la part du fond géochimique naturel.

Ce type de suivis est absolument nécessaire si l'on souhaite renforcer les études de projection sur l'avenir de la qualité des eaux dans le cas de la Moselle, et tenir compte de l'influence de l'évolution d'une réglementation concernant le rejet des soudières.

Par ailleurs, en prenant en compte l'incertitude actuelle, les résultats de la présente étude identifient déjà avec confiance des zones de vulnérabilité et diagnostiquent des besoins de sécurisation de l'AEP sur le territoire. Il s'agit de besoins de sécurisation pérenne pour les UGE dépendantes des alluvions de la Moselle dans des zones de concentrations en chlorures élevées, ou de sécurisation en secours pour les UGE vulnérables à une crise sur la ressource du Rupt de Mad. Les échanges avec les acteurs ont montré que des enjeux multiples entourent la construction de solutions de sécurisation ; il ne s'agit pas seulement d'un exercice technique, des questions d'ordre économique ou politique entrent également en compte (questions autour du financement, du prix de l'eau, etc.). Par ailleurs, étant donné les interdépendances entre UGE du territoire, la problématique doit être abordée d'un point de vue global. Afin d'avancer vers un schéma de sécurisation de l'AEP du périmètre, il semble donc important d'adresser ces multiples enjeux dans une démarche concertée.

Tout d'abord une consultation des différents acteurs et gestionnaires permettrait de réaliser un inventaire des solutions de sécurisation envisageables. Cet inventaire mobiliserait des compétences techniques (notamment en ingénierie de l'hydraulique urbaine), mais aussi la prise en compte des questions de mise en œuvre des propositions techniques, et la caractérisation des points de blocage éventuels.

Dans un deuxième temps, l'animation d'une démarche concertée de réflexion autour des solutions de sécurisation répertoriées et de leurs modes de mise en œuvre envisageables, avec les différents acteurs concernés, favoriserait l'émergence de solutions identifiées comme souhaitables par et pour l'ensemble du territoire. Une telle approche répondrait à l'attente exprimée par le groupe de travail associé à la présente étude de réfléchir collectivement à des solutions pour le territoire dans son ensemble, dans une démarche de solidarité.

Cette démarche devrait également s'inscrire dans un périmètre plus large que celui de la présente étude, afin de s'assurer de la cohérence des mesures proposées avec les schémas de planification des zones avoisinantes en interaction avec l'axe mosellan (notamment le Bassin Ferrifère).

8. Bibliographie

Agence De L'Eau Rhin-Meuse (2002), Atlas hydrogéologique du bassin Rhin-Meuse. 65 p.

AERM, DREAL, BRGM (2013), Fiche de caractérisation initiale de la masse d'eau souterraine FRCG016, Alluvions de la Moselle en aval de la confluence avec la Meurthe. 22 p.

Bourgau J-M., Bertin M., Lerat J-F., Monnot J-G., Morin G-A., Poss Y. (2008), *La forêt française en 2050-2100, Essai de prospective*, Conseil Général de l'Agriculture, de l'Alimentation et des Espaces Ruraux.

Charlier J.-B., B. Ladouche, and J.-C. Maréchal (2015). Identifying the impact of climate and anthropic pressures on karst aquifers using wavelet analysis. *Journal of Hydrology*, 523:610-623, DOI 10.1016/j.jhydrol.2015.02.003.

CIPMS (2013), Identification des impacts possibles du changement climatique dans le bassin versant de la Moselle et de la Sarre, Commissions Internationales pour la Protection de la Moselle et de la Sarre.

Egis Eau (2012), Sécurisation qualitative et mutualisation des ressources en eau, Champs captant d'Atton et Loisy, Syndicat Mixte des eaux de Seille et Moselle.

European Environment Agency (2007), *Land –use scenarios for Europe : qualitative and quantitative analysis on a European scale*, PRELUDE, EEA Technical Report No 9/2007.

Fédération Nationale des Jardins Familiaux et Collectifs (2007), L'utilisation de l'eau dans les jardins. Journées de l'OIEau « La réutilisation des eaux pluviales: nouveautés et retour d'expériences ». Cité par Mucig C., Le Nouveau N. (2013), Utilisation de l'eau de pluie dans les jardins collectifs en France : enjeux, problématiques et premières analyses des pratiques.

Lallemand-Barrès A., Roux J.-C. (1999) – Périmètres de protection des captages d'eau souterraine destinée à la consommation humaine. Manuels et méthodes n°33, Editions BRGM, 334 p.

Mangin A (1984) Pour une meilleure connaissance des systèmes hydrologiques à partir des analyses corrélatoire et spectrale. (For a better knowledge of hydrological systems by means of correlation and spectrum analyses). *J Hydrol* 67:25–43

Nguyen-Thé D. (2015) – Le chlorure dans la Moselle et sa nappe, Etude des données et opportunité de la construction d'un observatoire. BRGM/RP – 64675-FR, 33 p.

Nguyen-Thé D. (2012) - Le chlorure dans la Moselle et sa nappe. Exploitation cartographique et synthétique des données. Accompagnement du groupe de travail « Chlorures ». BRGM/RP-60287-FR, 78 p.

Rozan et al (2016) – Analyse historique et économique de la gestion des concentrations en chlorures dans la Meurthe et la Moselle.

SAFEGE (2007), Etude de sécurisation de l'alimentation en eau potable des collectivités mosellanes.

SAFEGE (2017), Définition des hypothèses de Ressources besoins – Schéma de sécurisation AEP sur le territoire du SAGE Bassin Ferrifère.

Service des Eaux de la Ville de Montigny-Lès-Metz (2017) - Étude de sécurisation de la ressource et de l'approvisionnement en eau potable du service de la ville de Montigny-lès-Metz. 41 p.

SOeS (2015) – Chiffres clés de l'environnement – Gestion et utilisation des ressources naturelles, CGDD, Ministère de la Transition Écologique et Solidaire. Disponible à l'adresse : <http://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/indicateurs-indices/f/2089/0/consommation-deau-potable-journaliere.html>

SOGREAH (2009), Étude des solutions de réduction de l'impact des rejets de sel en Moselle associée à un bilan couts / avantages. Rapport R1 V2, avril 2009, N° 4 63 1076.

Thirel et al (2017) – Rapport final du projet MOSARH21, Évolution des débits futurs sur le bassin du Rhin en contexte de changement climatique, Une évaluation actualisée avec les simulations climatiques du 5^e rapport du GIEC.

Vaute L., Lanini S., Galet N. (2013) Construction et mise en œuvre d'un simulateur hydrologique et chimique du bassin ferrifère Lorrain. Rapport BRGM/RP-62998-FR, 67p.

Véolia Eau (2011), Étude de sureté de l'alimentation en eau potable de la Ville de Metz, Rapport, Véolia Eau Région Est.

Vert J., Schaller N., Villien C. (2013), *Agriculture Forêt Climat : vers des stratégies d'adaptation*, Centre d'études et de prospective, Ministère de l'Agriculture, de l'Agroalimentaire et de la Forêt.

Vert J., Portet F. (2010), *Prospective Agriculture Énergie 2030. L'agriculture face aux défis énergétiques*, Centre d'études et de prospective, Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation, de la Pêche, de la ruralité et de l'Aménagement du territoire.

Annexe 1 :

Liste des membres du Groupe de Travail (en date de 2017)

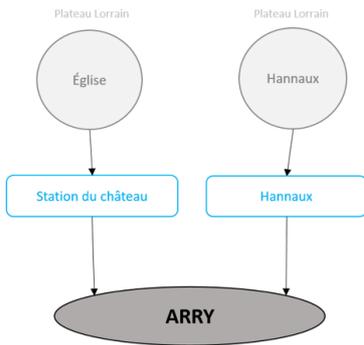
Membres du Comité de bassin	
Grand Nancy	Philippe Gilles Serge Bouly François Wehrung
Ville de Metz	Réné Darbois Didier Duc
Représentant des industriels	Patrick Neu
Conseil départemental 54	Thibault Bazin
Véolia	Morgane Pitel
Collectivités concernées	
SIE de Seille et Moselle	Dominique Labaye Colette Mougeot
SIEA du Bassin de Pompey	Damien Bedel
Commission locale de l'eau du SAGE du Bassin Ferrifère	Vincent Matelic Delphine Rousset Camille Barthe
Ville de Montigny-les-Metz	François Gerard Bernard Eckstein
SIE de la région de Verny	M. Arnoud Mme Forey Jean-Marc Remy Jacky Bouches
SIE de l'Obrion Moselle	
SIE d'Atton	Noél Guerard
Opérateurs de services d'eau	
SAUR	Benoît le Blanc Olivier Le Goallec
SUEZ	Claude Tinant Daniel Karcher Florian Kabacher
Conseil départementaux	
Conseil départemental de Moselle	Nadine Dellinger Philippe Rossa Guillaume Desforges

Conseil départemental de Meurthe-et-Moselle	Philippe Larivière D. Charpentier
Région grand Est	
Région Grand Est	Benoît Grandmougin
Soudières	
Novacarb	Renaud Descamps Dominique Jacob Mickael Gaulay
Solvay	M. Joao Gouveia Martine Gaudalet
Comité de Pilotage	
DREAL Grand Est	Xavier Marly Alain Lercher
ARS Grand Est	Julien Bacari Laurent Subileau Philippe Vannier
DDT 54	Fabrice Arki
DDT 57	Christophe Lebrun Pierre Sibi
Agence de l'eau Rhin-Meuse	Marc Hoeltzel Pascal Duchêne Veronique Durr Corinne Bascoul Sarah Walter Julien Laloe
Expert	Jean-Luc Janel

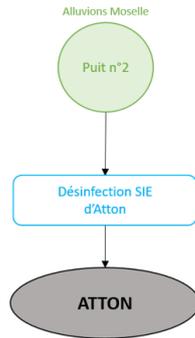
Annexe 2 :

Schématisation de l'organisation de l'AEP des UGE du périmètre (pour l'année de référence 2015)

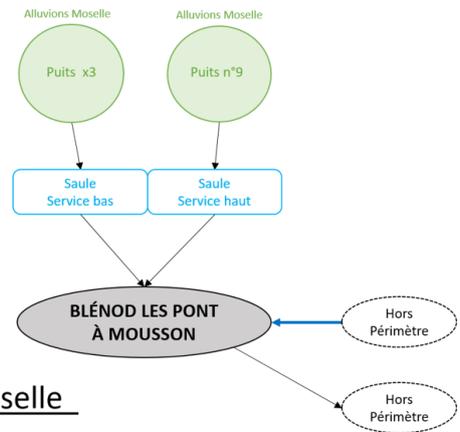
Arry



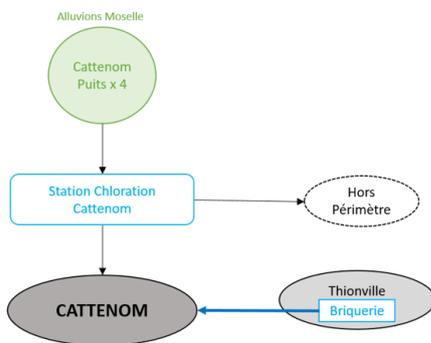
SIE d'Atton



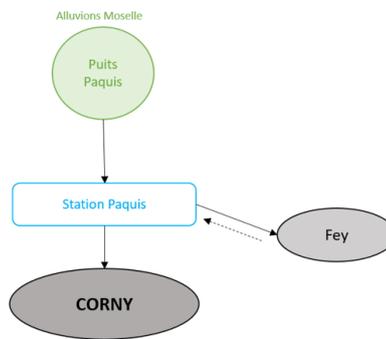
Blénod lès Pont à Mousson



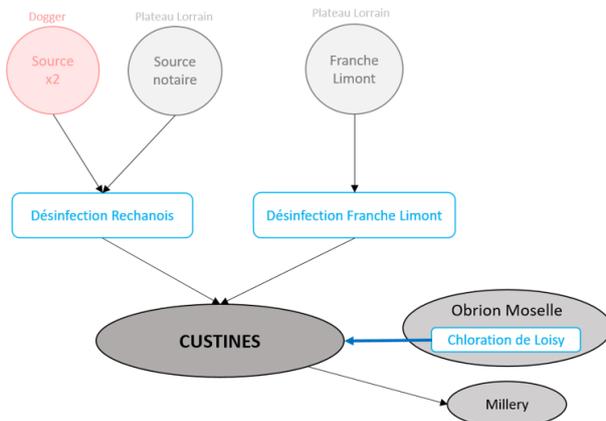
SIE Cattenom



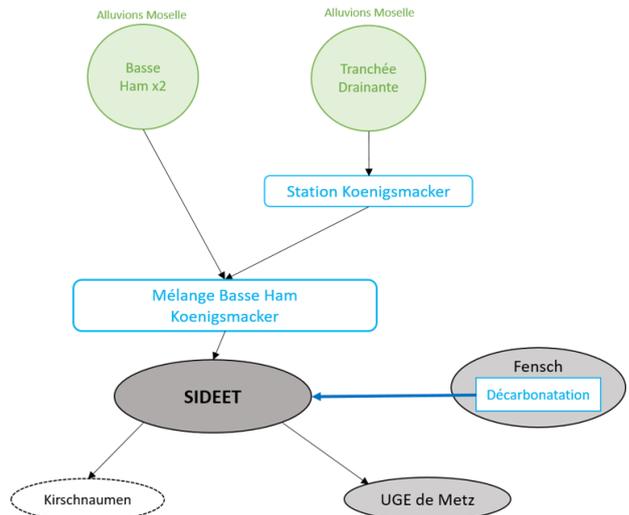
Corny sur Moselle



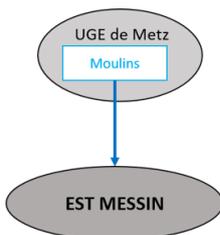
Custines



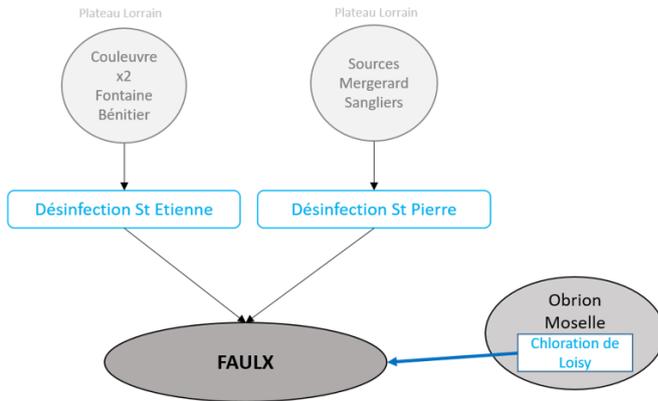
SIDEET de l'Est Thionvillois



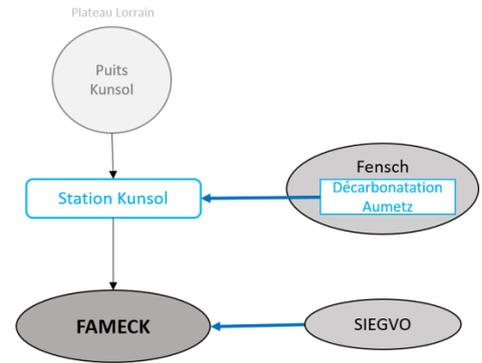
Est Messin



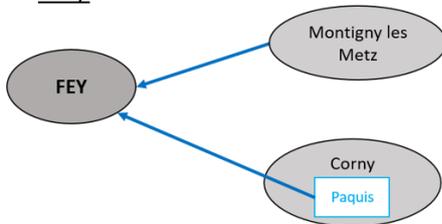
FAULX



SIE de FAMECK

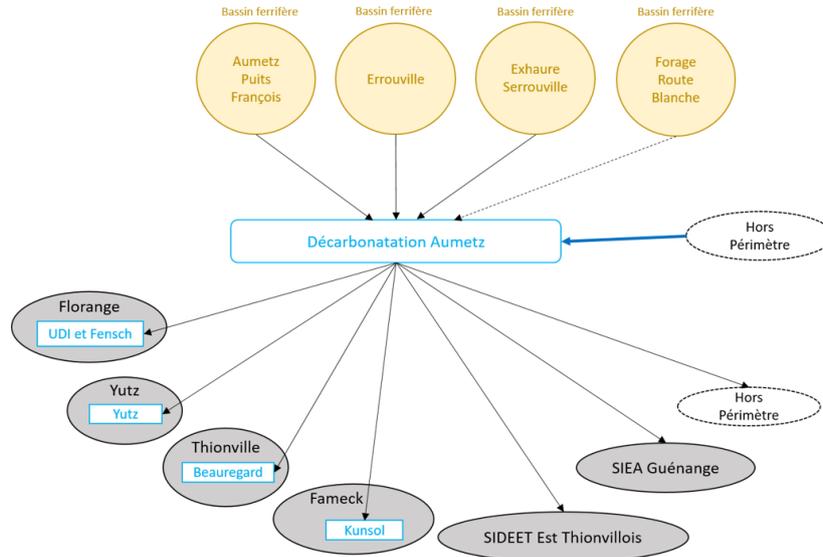


Fey

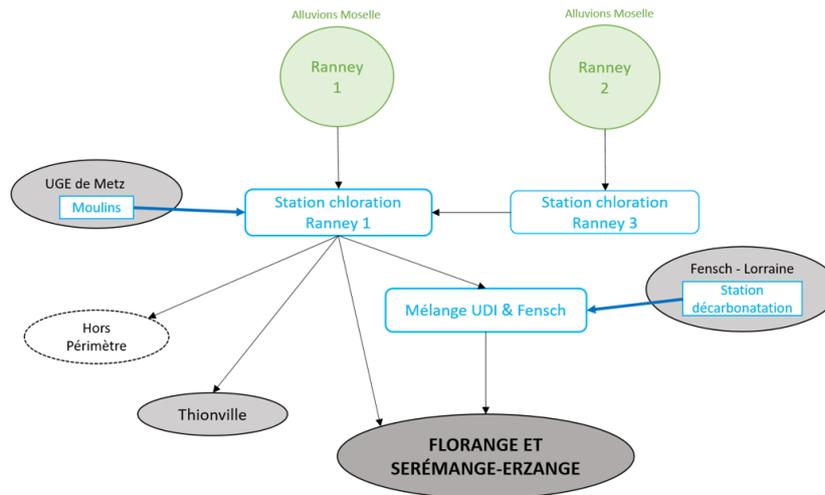


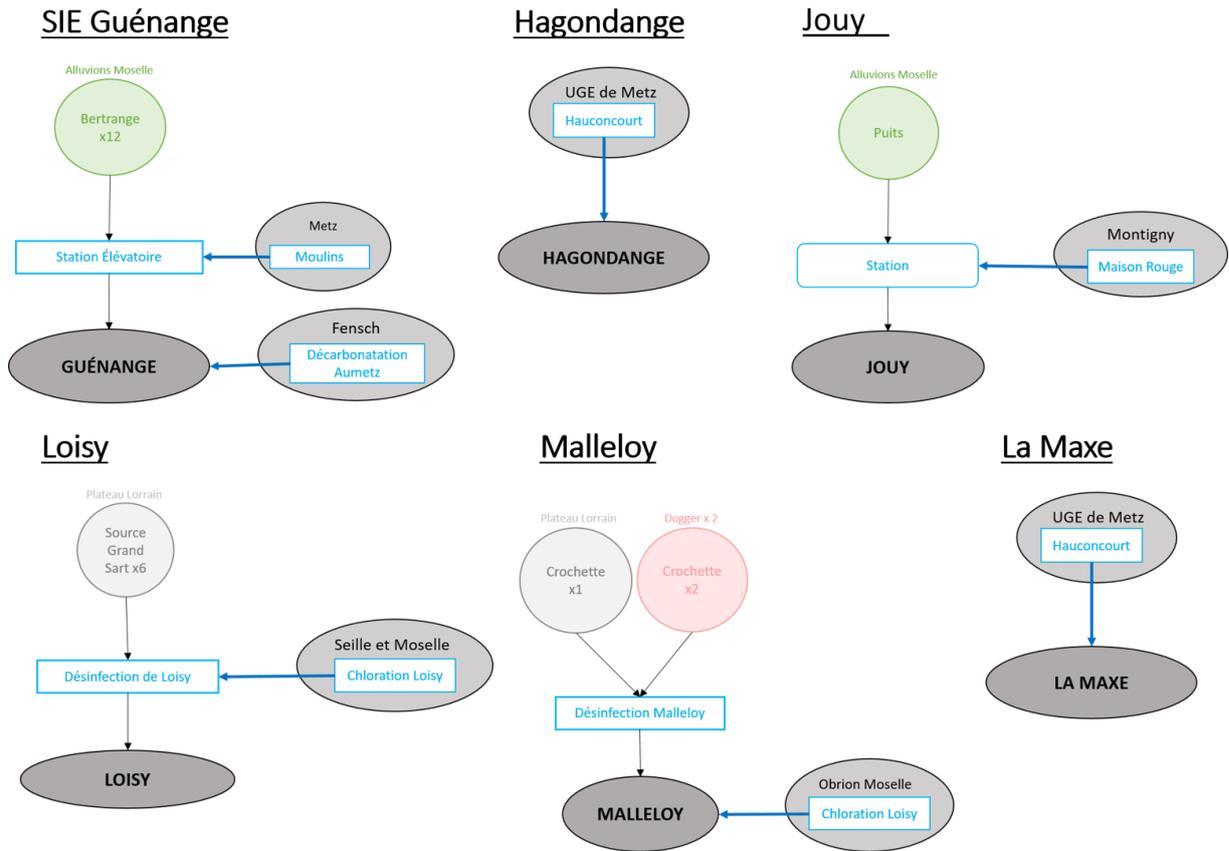
Fensch-Lorraine

Syndicat de production

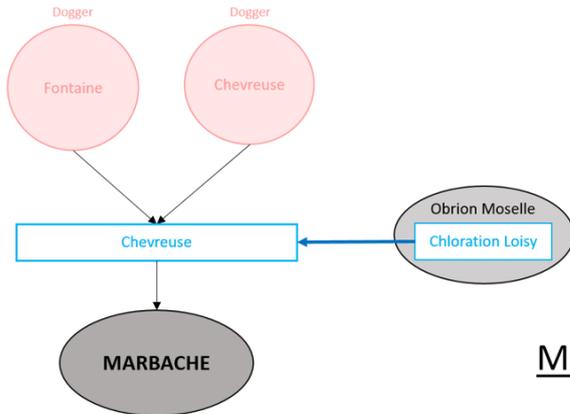


SIE Florange et Serémange Erzange

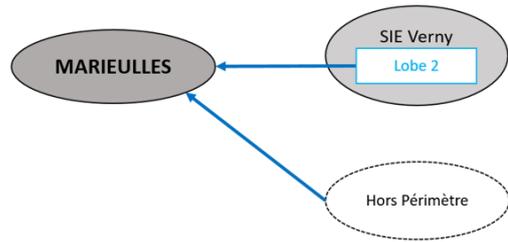




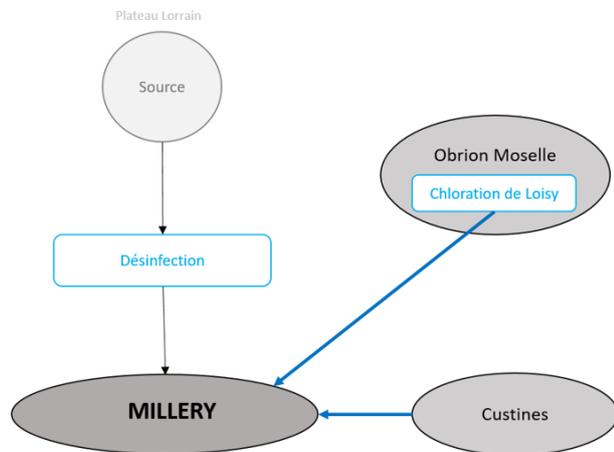
Marbache



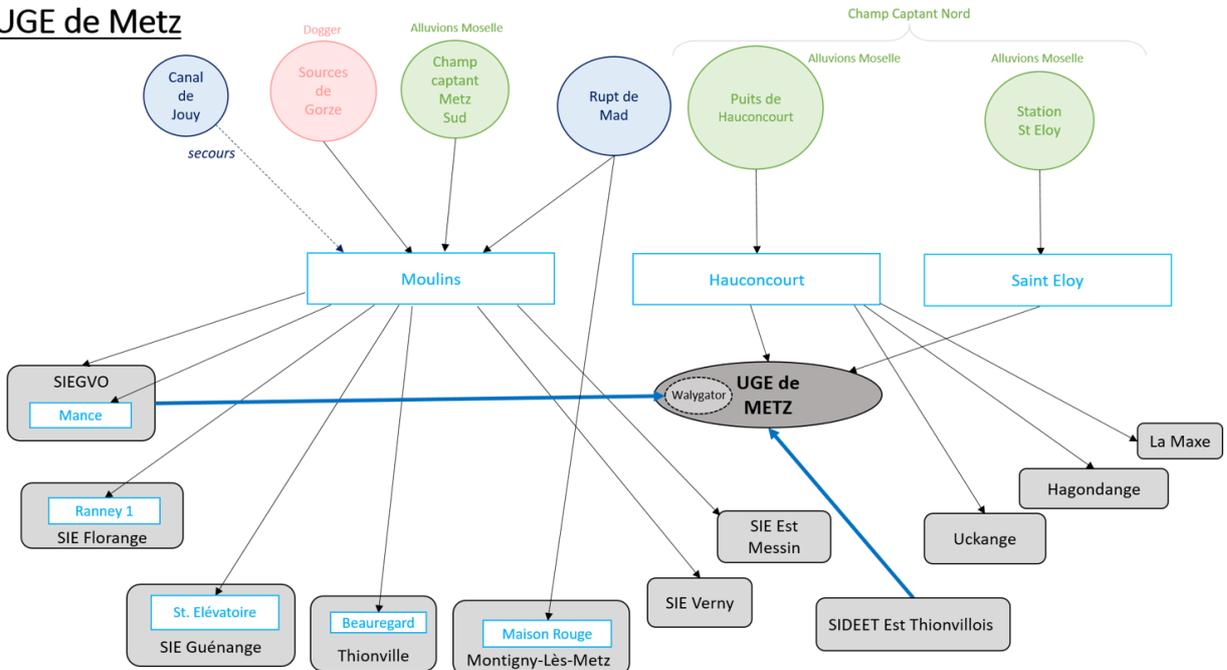
Marieulles



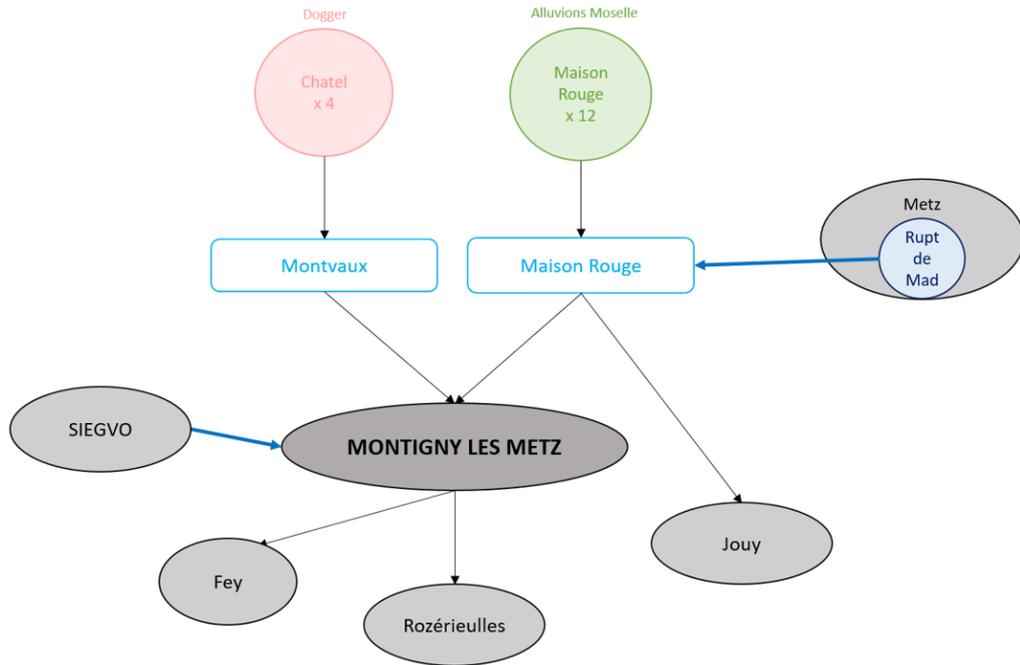
Millery



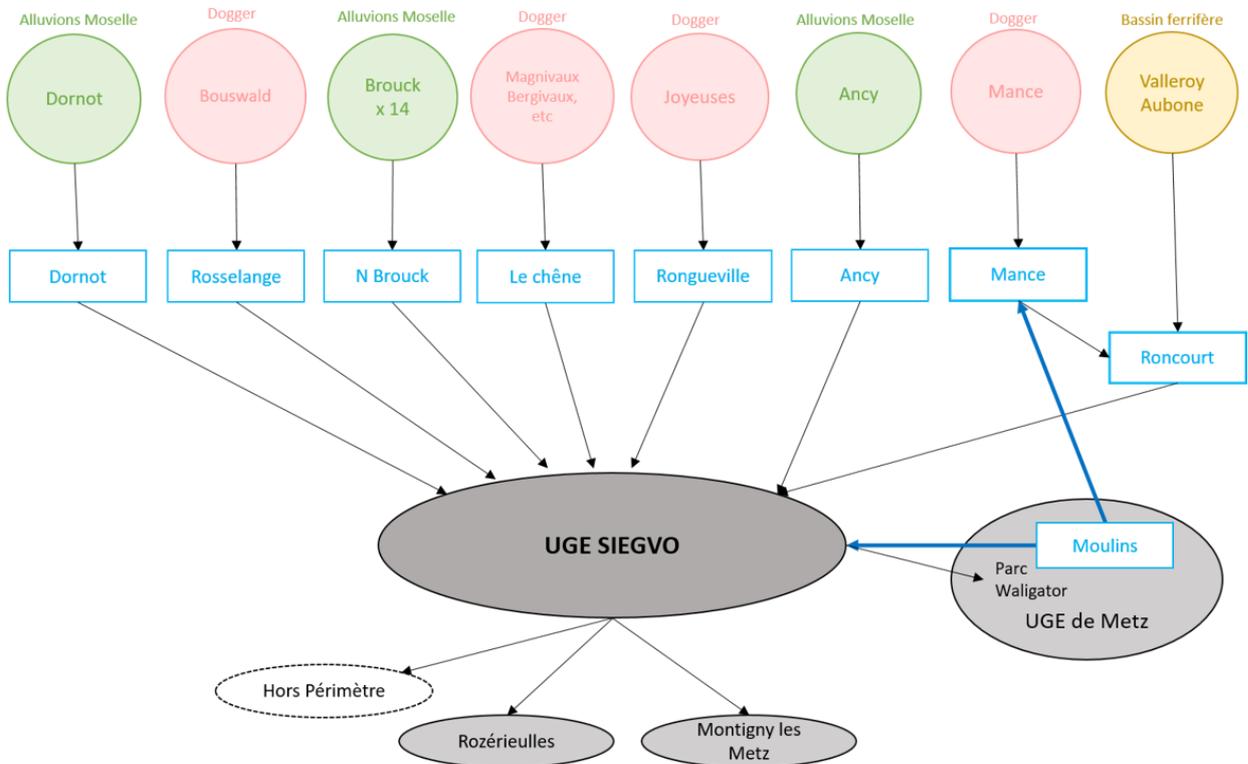
UGE de Metz



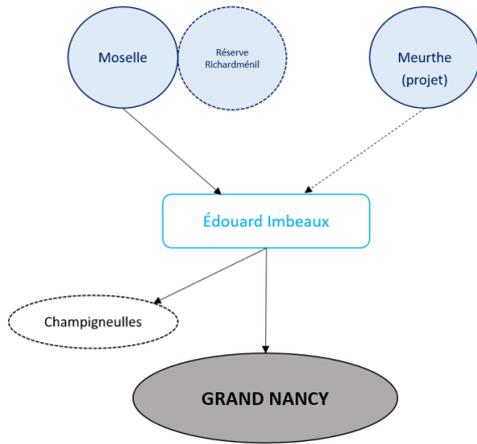
Montigny les Metz



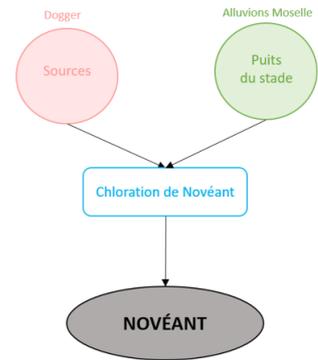
SIEGVO



Grand Nancy

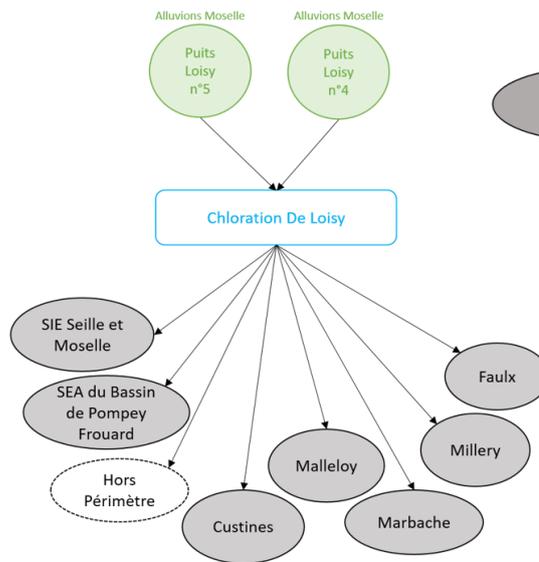


Novéant sur Moselle

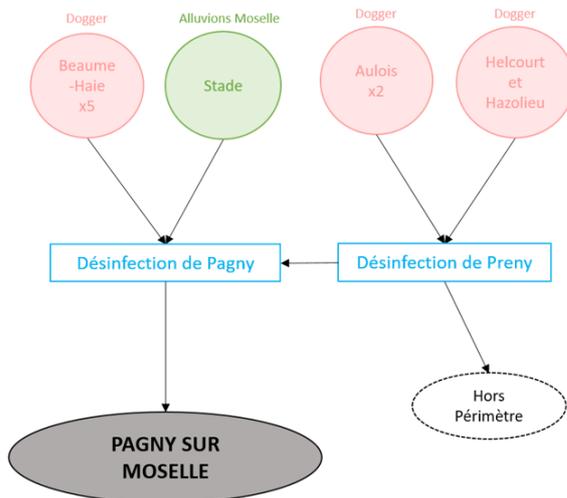


SIE Obrion Moselle

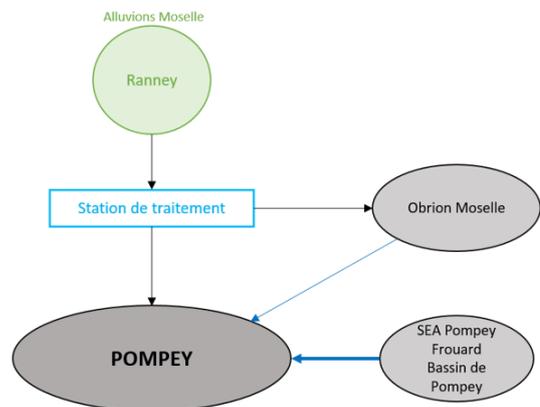
Syndicat de production



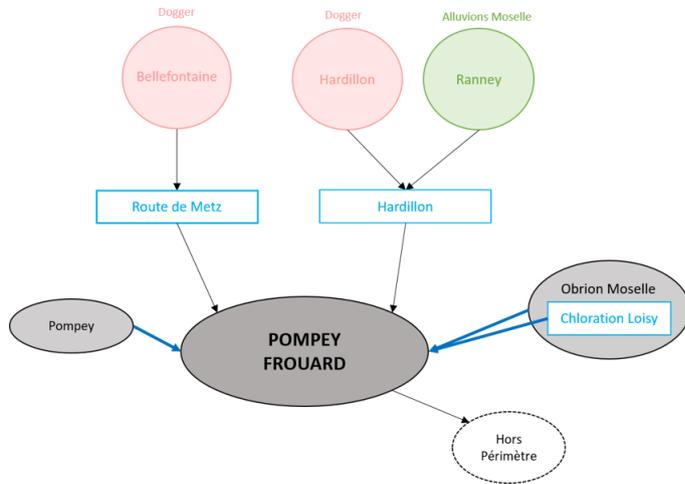
SIE Pagny sur Moselle



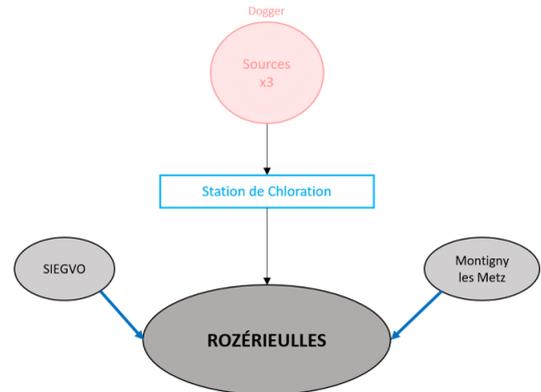
Pompey



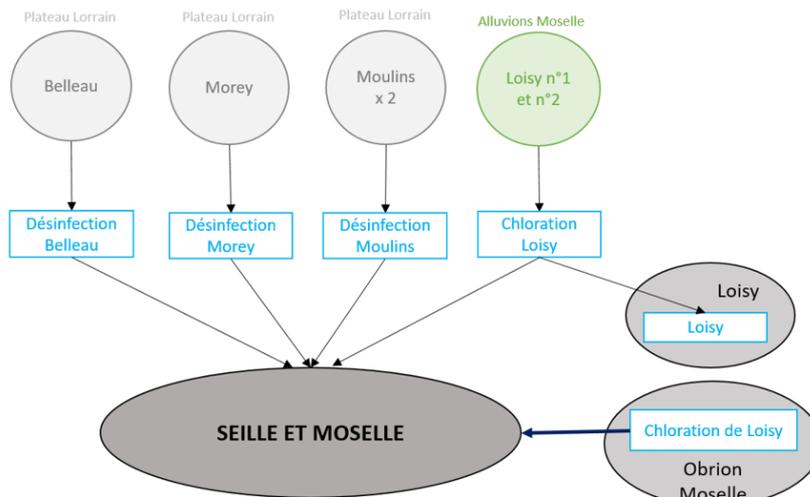
SEA Pompey Frouard
SEA Bassin de Pompey



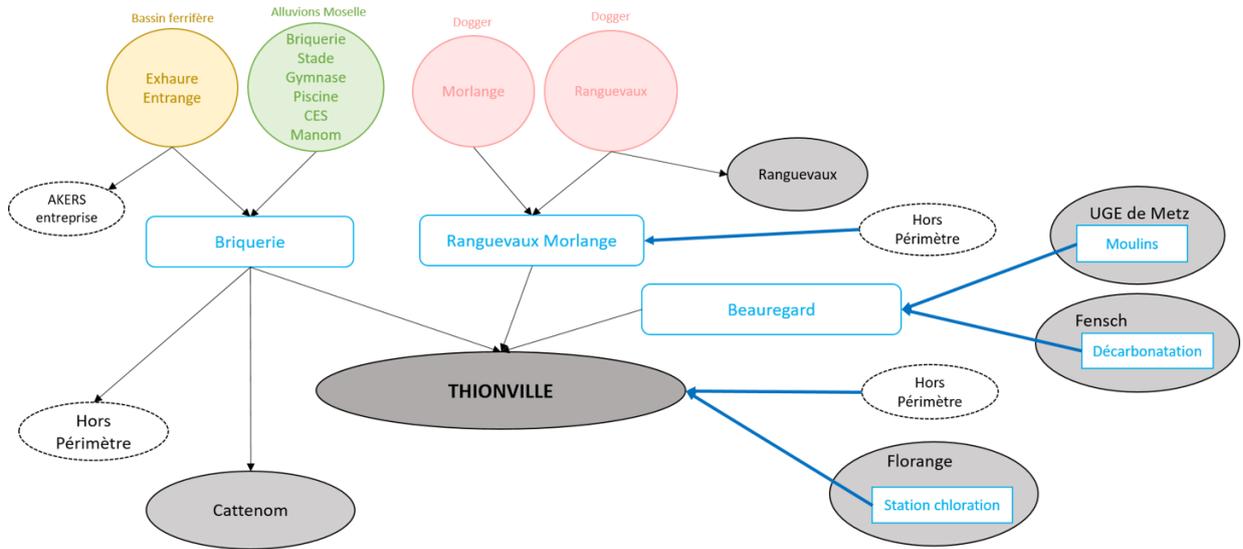
Rozérieulles



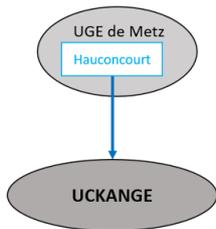
SME Seille et Moselle



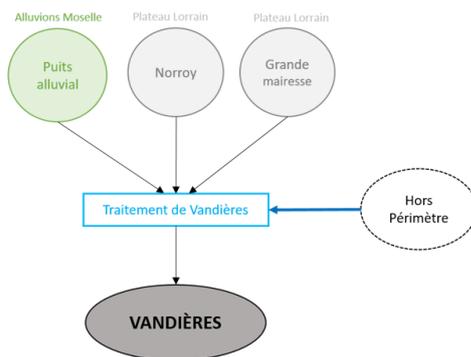
Thionville



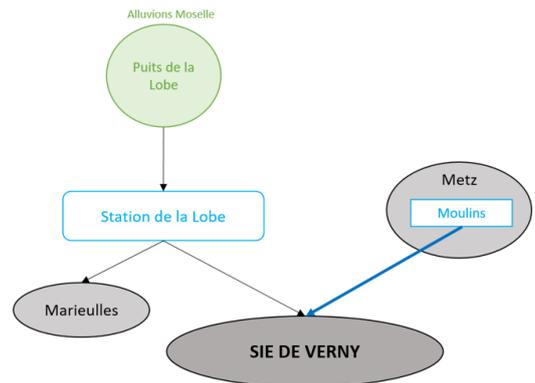
Uckange



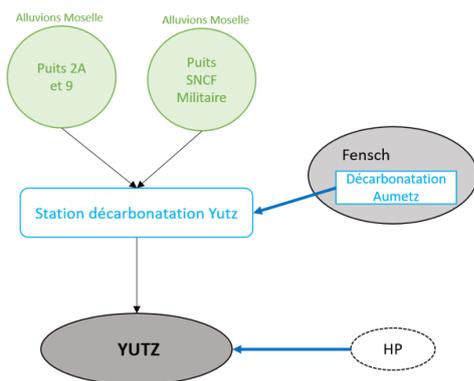
Vandières



SIE de Verny



SIE de Yutz



Annexe 3 :

Estimation du diamètre et du linéaire des canalisations

Lorsque la donnée n'était pas disponible, le linéaire des canalisations a été évalué. Sous SIG, la distance à vol d'oiseau entre le point de départ et le point d'arrivée de la canalisation a été calculé. Cette distance a ensuite été multipliée par un facteur 1,25 (soit +25%) pour prendre en compte l'écart entre la distance à vol d'oiseau et la distance réelle parcourue. Cette valeur correspond à l'écart moyen entre linéaire estimé et linéaire réel pour les canalisations où la donnée exacte était disponible.

Lorsque la donnée n'était pas disponible, le diamètre probable des canalisations a été estimé. On considère comme diamètre probable le diamètre optimal en termes de coût, en considérant l'arbitrage entre les coûts de fonctionnement décroissants avec le diamètre et le coût d'investissement croissant avec le diamètre, sur la durée de vie de la canalisation.

Annexe 4 :

Contribution des affluents à la contamination de la Moselle en aval de sa confluence avec la Meurthe

À partir des données disponibles sur les 4 affluents de la Fensch, de la Seille, du Rupt de Mad et de l'Orne, seule la Seille possède des anomalies notables en chlorures (Figure 47).

Pour illustrer les contributions de la Seille à la Moselle, une analyse des flux a été conduite. La Figure 48 montre l'évolution des flux de chlorure de la Seille (triangle) en regard des flux de la Moselle en amont de sa confluence (cercles) et en aval (carrés). L'écart entre flux dans la Moselle et flux dans la Seille, ainsi que la bonne correspondance des flux dans la Moselle en amont et en aval de la confluence indiquent que les contributions de la Seille sont mineures comparées aux quantités transportées par la Moselle depuis la zone de contamination (Meurthe).

	Fensch				Seille						Rupt de Mad			Orne						
	CI_FENSCH_FLOORANGE	CI_FENSCH_FONTOY_VAL	CI_FENSCH_KNUTANGE	CI_FENSCH_SEREMANG E	CI_SEILLE_AURT	CI_SEILLE_C HAMBREY	CI_SEILLE_C HEMINOT	CI_SEILLE_C ETZ	CI_SEILLE_M ULCEY	CI_SEILLE_N OMENY	CI_RUPT_DE_MAD_RAIS	CI_RUPT_DE_MAD_ONVILLE	CI_RUPT_DE_MAD_BUCOURT	CI_ORNE_BONCOURT	CI_ORNE_F NELLE	CI_ORNE_G OAMEIX_OR	CI_ORNE_H USSAINVILL E	CI_ORNE_I ATRIZ E	CI_ORNE_J OEUF_AVA	CI_ORNE_RI CHEMONT
1er quartile	97	20	24	41	17	264	189	166	107	201	13	12	12	18	7	14	20	23	31	27
mediane	154	22	27	54	20	580	324	295	253	370	16	13	15	21	9	16	24	28	43	32
3eme quartile	201	24	29	77	22	915	529	480	354	537	17	15	17	24	12	19	29	36	55	41

Figure 47 : Niveaux de contamination en chlorures des affluents de la Moselle

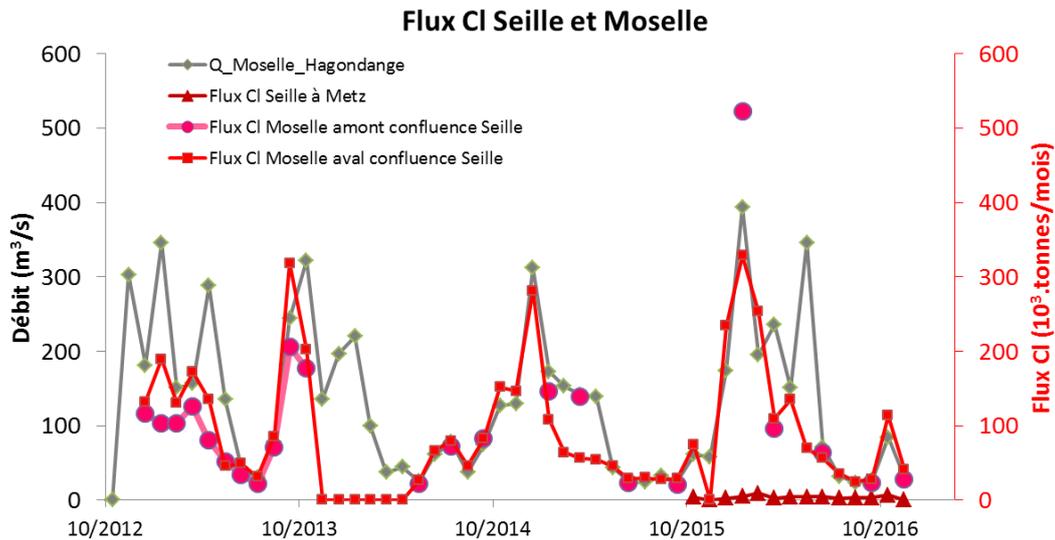


Figure 48 : Evolution des flux de Chlorures dans la Seille et la Moselle en amont et en aval de sa confluence à partir de données mensuelles

Annexe 5 :

Analyse des relations nappe-rivière

Analyse des relations nappe-rivière

Dans un premier temps, une étude des corrélations croisées [CI] ESO – [CI] ESU (Moselle) a été réalisée, en se focalisant sur un secteur où le nombre de données brutes est important et bien réparti au cours du temps : le secteur Loisy et Atton. L'objectif était alors de tester si, pour les ouvrages les mieux renseignés, une corrélation Moselle – nappe alluviale est observable et permet de tirer des conclusions quant aux échanges ESU-ESO et quant à l'inertie du système aquifère.

Dans un deuxième temps, une étude des corrélations simples [CI] Moselle - [CI] Nappe alluviale à partir du signal pluri-annuel des chroniques a été réalisée sur les 23 ouvrages de la zone d'étude. L'objectif était alors de parvenir à différencier les ouvrages dont le signal est influencé par les [CI] de la Moselle, des ouvrages où l'influence est moindre.

À l'issue de ces deux analyses, une réflexion quant aux différents facteurs pouvant influencer les résultats de ces tests de corrélations [CI] Moselle – [CI] nappe alluviale a été menée afin de mettre en lumière les pistes d'amélioration de la typologie réalisée.

Première approche : étude des corrélations croisées [CI] Moselle / [CI] Nappe alluviale à partir des données brutes – application sur un secteur sélectionné

Des corrélogrammes croisés entre ouvrages de mesure de [CI] en Moselle et ouvrages de mesure de [CI] en nappe alluviale ont été réalisées afin de comprendre le lien [CI] Moselle – [CI] Nappe alluviale et l'inertie de la nappe.

Les analyses corrélatrices sont présentés dans les travaux de Mangin (1984). Cette étude a été réalisée à partir des [CI] brutes, sur le secteur d'Atton-Loisy, où le nombre de données par an est le plus élevé (Figure 49) et leur répartition sur les 20 années étudiées est équilibrée (Figure 14).

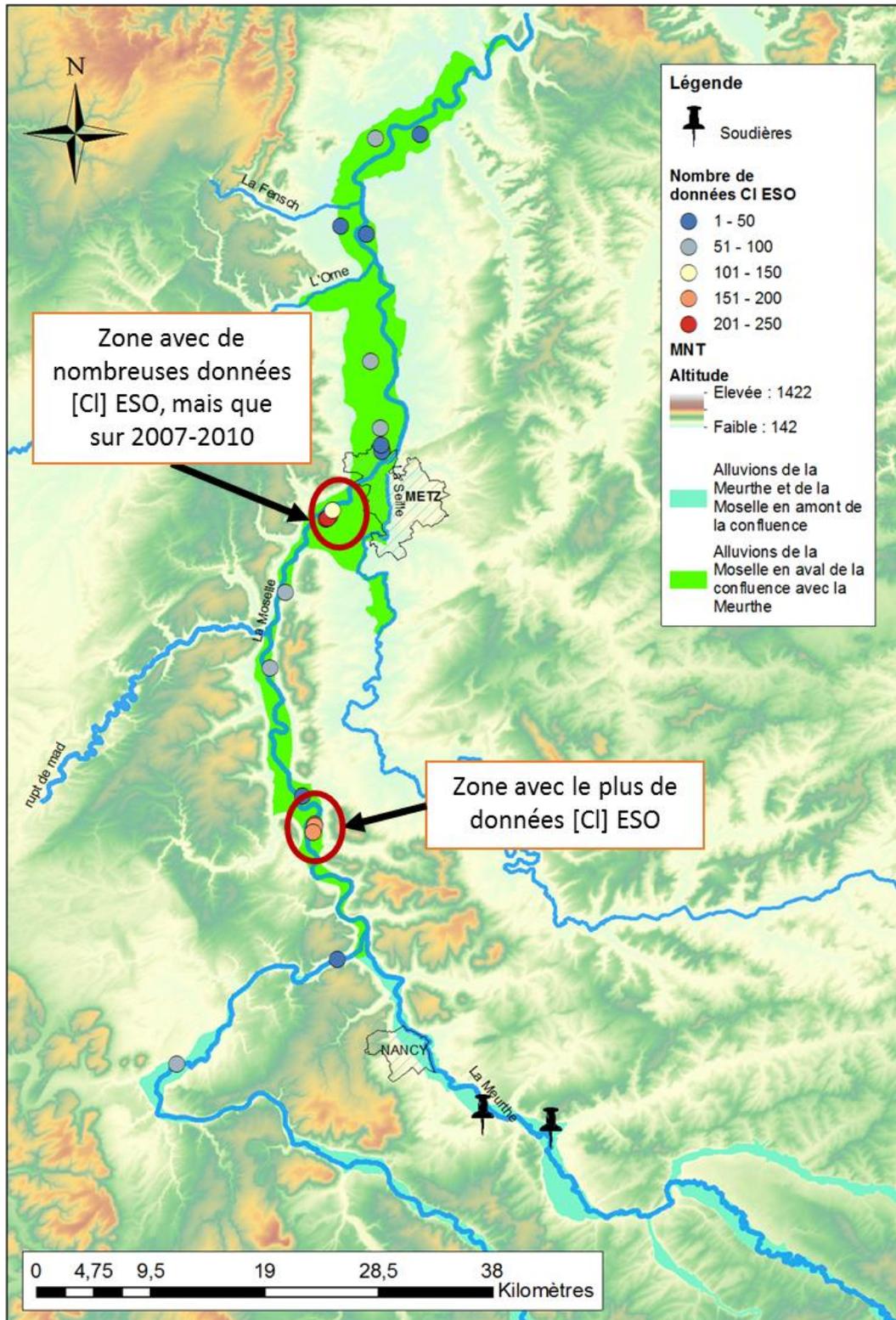


Figure 49 : Carte illustrant le nombre de données [CI] ESO par ouvrage de mesure en nappe

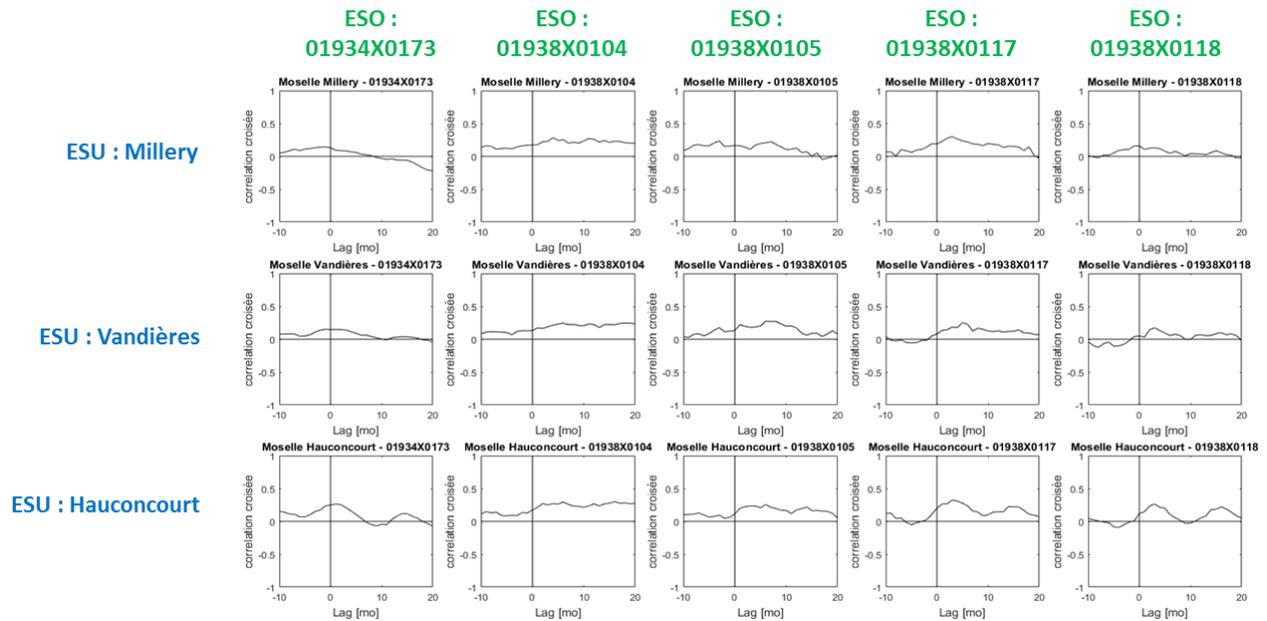


Figure 50 : Corrélogrammes croisés des [Cl] mesurés en Moselle à Millery, Vandières et Hauconcourt, avec les [Cl] mesurées en nappe à Loisy et Atton

Les résultats des corrélogrammes entre ESO et ESU sont présentés Figure 50 avec 5 x 3 corrélogrammes pour 5 piézomètres (ESO en colonnes) et 3 sites en rivière (ESU en lignes). Les faibles valeurs de corrélation indiquent qu'il n'y a pas de relation simple au pas de temps mensuel entre [Cl] dans ESU et ESO. D'autres influences sont à privilégier : dilution par les versants, affluents moins impactés, pompages, etc.

Deuxième approche : étude des corrélations simples [Cl] Moselle / [Cl] Nappe alluviale à partir du signal pluri-annuel des chroniques – application à l'ensemble de la zone d'étude

Afin de visualiser à l'échelle de l'ensemble des ouvrages étudiés les liens éventuels pouvant exister entre la Moselle et sa nappe alluviale en terme de concentration en Cl, une étude sur les variations de plus grandes longueurs d'onde a été réalisée.

Pour ce faire, le nombre de données brutes ESO étant faible et inégalement réparti d'une année à l'autre et d'un ouvrage à l'autre, les données ont été moyennées par mois, puis interpolées de manière à combler les mois sans information. Les chroniques mensuelles alors obtenues ont été déconvoluées en 3 composantes : infra-annuelle (IA), annuelle (A) et pluri-annuelle (PA). La méthode de déconvolution est celle de l'analyse en ondelette par multirésolution (Charlier et al., 2015)

Le même travail a été réalisé sur la chronique des concentrations en Cl mesurées dans la Moselle à Hauconcourt (chronique en eau de surface la plus complète et ayant également servi de chronique de référence pour effectuer la sélection des années type) (Figure 15). Le signal PA correspond à une concentration en chlorures en mg/l. Les signaux A et IA correspondent à un écart (positif ou négatif, en mg/l également) par rapport au signal PA.

Seule la composante pluri-annuelle (PA) de ces chroniques ont été prise en compte, et normalisée, de manière à effectuer la comparaison sur les évolutions visibles à plus grande échelle de temps. Ces tests de corrélation ont d'abord été réalisés sur l'intégralité de la période (1998-2017), puis indépendamment sur les périodes 2004-2010 et 2010-2016, afin d'améliorer le test pour les ouvrages ayant des données exclusivement sur ces périodes-ci.

Les résultats obtenus ont été couplés à une observation visuelle des différentes chroniques, en ne conservant que les périodes de mesures propres à chaque ouvrage de manière à ne pas fausser l'observation par la comparaison de données interpolées. Les ouvrages de mesure ont été classés dans 3 groupes distincts (Figure 51) :

- groupe A: comportement visiblement influencé par la Moselle ;
- groupe B: comportement mixte, ouvrages qui présentent une tendance similaire, mais avec des variations ;
- groupe C: ouvrages présentant une tendance différente.

N°	Code BSS	Commune	Nbr data CI	Début-Fin	R ² ESU-ESO 1	R ² ESU-ESO 2	R ² ESU-ESO 3	Bilan: Groupe ESU-ESO
1	02296X0013/PR2	Toul	70	1999-2016	0,565	0,862	0,471	A
2	02294X0092/F	Liverdun	21	1999-2016	0,270	0,001	0,025	B
3	01938X0104/P1	Loisy	196	1999-2017	0,124	0,116	0,002	B
4	01938X0105/P2	Loisy	235	1999-2017	0,699	0,762	0,723	A
5	01938X0117/P4	Loisy	197	1998-2017	0,524	0,325	0,385	B
6	01938X0118/P5	Loisy	200	1998-2017	0,141	0,368	0,386	B
7	01934X0173/P	Atton	49	1998-2016	0,017	0,602	0,026	B
8	01638X0207/P1	Arry	79	2000-2017	0,013	0,081	0,742	B
9	01638X0033/F1	Corny sur Moselle	66	1999-2016	0,434	0,037	0,400	B
10	01634X0111/21	Moulins Les Metz	210	2007-2010	0,036	0,699		A
11	01634X0109/13	Moulins Les Metz	207	2007-2010	0,046	0,172		B
12	01641X0109/P11	Moulins Les Metz	210	2007-2010	0,004	0,383		B
13	01641X0080/P1	Moulins Les Metz	138	1998-2017	0,611	0,539	0,368	A
14	01385X0063/P1	Metz	31	2004-2009	0,145	0,066		B
15	01385X0065/P3	Metz	32	2004-2009	0,168	0,471		B
16	01385X0068/P6	Metz	32	2004-2009	0,004	0,616		C
17	01385X0071/P9	La Maxe	29	2004-2009	0,271	0,145		B
18	01385X0059/PC	La Maxe	88	1999-2016	0,216	0,273	0,015	B
19	01385X0167/P102	Hauconcourt	62	2006-2017	0,004	0,261	0,159	C
20	01381X0033/P1	Bertrange	24	2010-2017	0,017		0,002	C
21	01381X0086/P13	Florange	26	2011-2016	0,004		0,030	C
22	01145X0021/F	Manom	59	1999-2016	0,064	0,128	0,178	C
23	01146X0011/P1	Basse Ham	46	2000-2016	0,059	0,259	0,063	C
					Avec toutes données de 1998 à 2017 (dont interpolations)	Avec données de 2004 à 2010	Avec données de 2010 à 2016	Réalisé en s'appuyant sur données de corrélation ESU-ESO, et avec traitement visuel des graphiques en ne conservant que les années avec données brutes disponibles

Figure 51 : Tableau récapitulatif des coefficients de corrélation r^2 CI Moselle – CI ouvrage, obtenus en effectuant 3 tests sur différentes périodes : 1998-2017, 2004-2010 (pour les ouvrages 10 à 12 et 14 à 17, r^2 en gras) et 2010-2016 (pour les ouvrages 19 à 21, r^2 en gras). En rouge figurent les $r^2 < 0,3$ (mauvaise corrélation), en vert les $r^2 > 0,6$ (bonne corrélation)

Étude des facteurs pouvant influencer les résultats des tests de corrélations [CI] Moselle – [CI] nappe alluviale

Plusieurs facteurs pourraient influencer les [CI] au sein de la nappe alluviale ou l'exactitude des tests de corrélation réalisés, et expliquer en partie les faibles corrélations [CI] Moselle – [CI] ouvrages observées ci-dessus.

a) Facteurs pouvant influencer les [CI] mesurés en nappe alluviale

- **La distance entre l'ouvrage de mesure et la Moselle**

On peut supposer que plus l'ouvrage est éloigné de la Moselle, moins il est influencé par ses apports en CI, plus r^2 [CI] Moselle – [CI] ouvrage est par conséquent faible. Pour chaque ouvrage, sa distance minimale à la Moselle a été mesurée sur SIG. 3 graphiques « r^2 de chaque ouvrage en fonction de la distance ouvrage-Moselle » ont été tracés pour les résultats des 3 tests de corrélation. Les résultats ne montrent pas spécifiquement de corrélation entre la distance à la Moselle et r^2 [CI] Moselle – [CI] nappe : r^2 1998-2017 = 0,12 (Figure 52) ; r^2 2004-2010 = 0,02 ; r^2 2010-2016 = 0,19. Cette analyse ne permet donc pas de conclure précisément sur l'influence de l'écart entre le cours d'eau et l'ouvrage sur les [CI] mesurées en nappe au niveau de l'ouvrage.

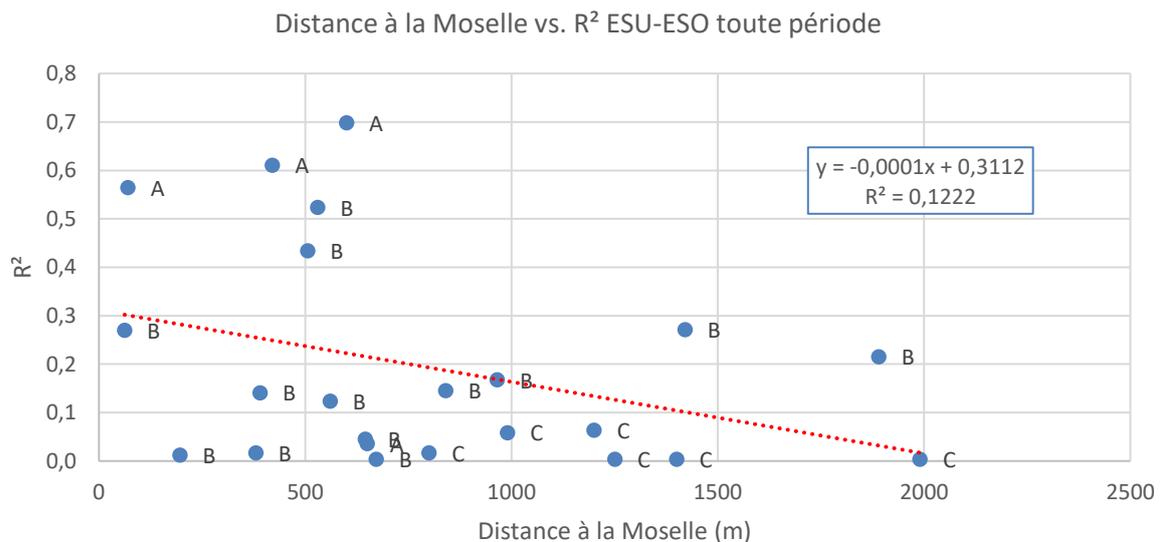


Figure 52 : Graphique représentant le coefficient de corrélation r^2 [CI] Moselle – [CI] ouvrage souterrain (test 1998-2017) en fonction de la distance Moselle – ouvrage. En étiquette des points le groupe auquel appartiennent les ouvrages

- **Les prélèvements en nappe**

Dans le cadre de l'étude menée en 2015 par David Nguyen-Thé, une analyse exploratoire avait été menée dans le but de comprendre et étudier les éventuelles relations pouvant exister entre les différents paramètres collectés (débits de la Moselle, [Cl] ESU et ESO, rejets des soudières, niveaux piézométriques, prélèvements, etc...). Des diagrammes de corrélation ont été établis entre les [Cl] ESO et les volumes prélevés (pour le secteur d'Arry la Lobe, Figure 53) ou les niveaux piézométriques (au niveau d'Atton, Figure 54), le rabattement de la nappe étant fonction des débits pompés. Dans les 2 cas, il a été observé qu'il n'existait pas de corrélation entre les [Cl] ESO et les prélèvements en nappe. Les prélèvements n'ont donc pas un impact significatif sur les [Cl] mesurées en nappe.

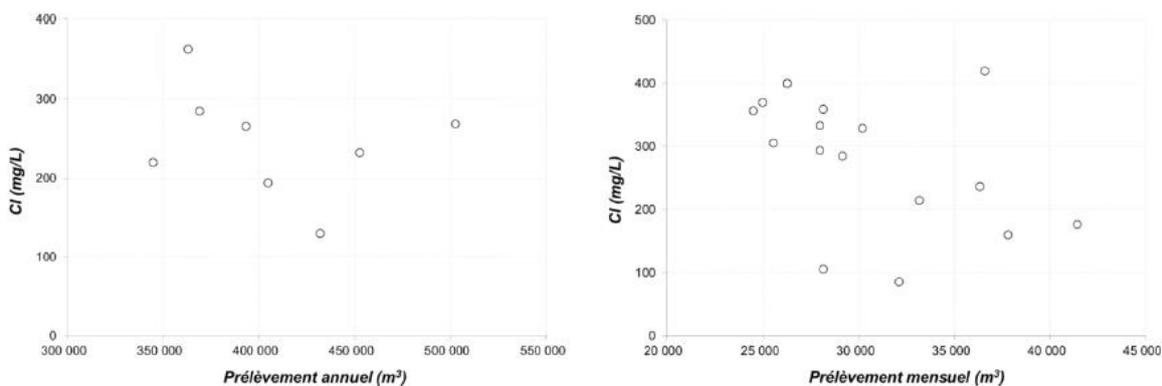


Figure 53 : Diagrammes [Cl] ESO-prélèvement annuel (à gauche) et [Cl] ESO-prélèvement mensuel (à droite) à Arry-la-Lobe (Nguyen-Thé, 2015)

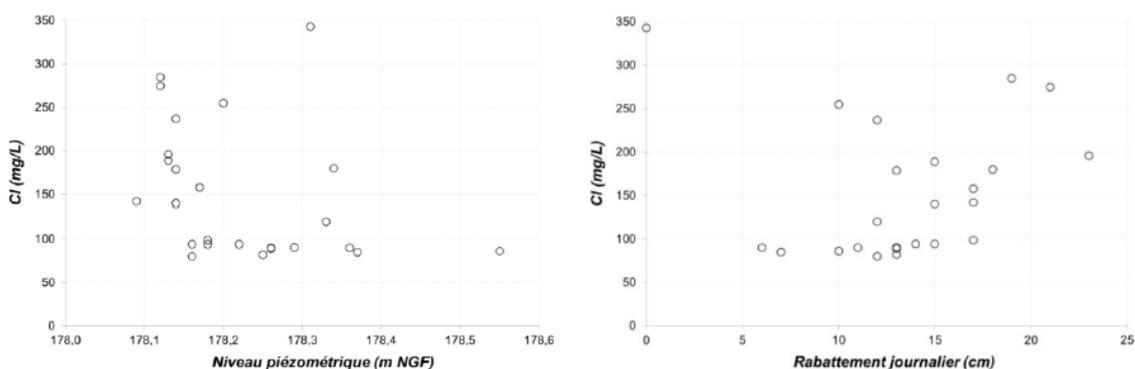


Figure 54 : Diagrammes [Cl] ESO-niveau piézométrique (à gauche) et [Cl] ESO-rabattement journalier (à droite) à Atton (Nguyen-Thé, 2015)

b) Facteurs pouvant fausser l'exactitude des tests de corrélations

- **Le choix d'un point de référence unique pour les [Cl] de la Moselle (Hauconcourt)**

Il est important de prendre en considération le fait que seules les mesures de [Cl] de la Moselle à Hauconcourt ont été prises en compte et comparées aux données en eau souterraine pour l'ensemble des 23 ouvrages, puisqu'étant la chronique la plus complète, d'un point de vue de sa régularité, de sa fréquence et de sa durée (Nguyen-Thé, 2012). La Figure 55 montre que pour l'ensemble des stations de mesure sur la Moselle, l'évolution des [Cl] au cours du temps (données brutes) suit une tendance similaire, et les pics positifs et négatifs de concentrations sont observables de manière générale sur chacune des chroniques, présentant parfois un léger décalage dans le temps (temps de transport du contaminant de l'amont vers l'aval, cas par exemple en 2007). Par ailleurs, comme cela a été précisé dans le point ci-dessus, la valeur moyenne de chaque chronique (Figure 13) varie peu du Sud au Nord (diminution très progressive d'environ 60mg/l, de Millery à Manom).

Les tests de corrélation ont été réalisés à partir des composantes pluri-annuelles des chroniques mesurées dans la Moselle à Hauconcourt, et dans la nappe au sein des 23 ouvrages. Cette composante ne retranscrit pas ces pics de concentrations de grande fréquence (retrouvés en composante infra-annuelle essentiellement). En revanche, la diminution très progressive des [Cl] moyennes de la Moselle et l'existence d'un décalage amont-aval pourraient expliquer partiellement les différences entre les composantes pluri-annuelles des signaux mesurés sur chaque ouvrage en nappe, et éventuellement l'obtention de moins bonnes corrélations entre les [Cl] mesurées sur la Moselle à Hauconcourt et celles mesurées au droit d'ouvrages éloignés de ce secteur. Mais de manière général, cet impact est moindre, les [Cl] de la Moselle étant assez similaires sur tout son linéaire après la confluence avec la Meurthe (en terme de tendance générale).

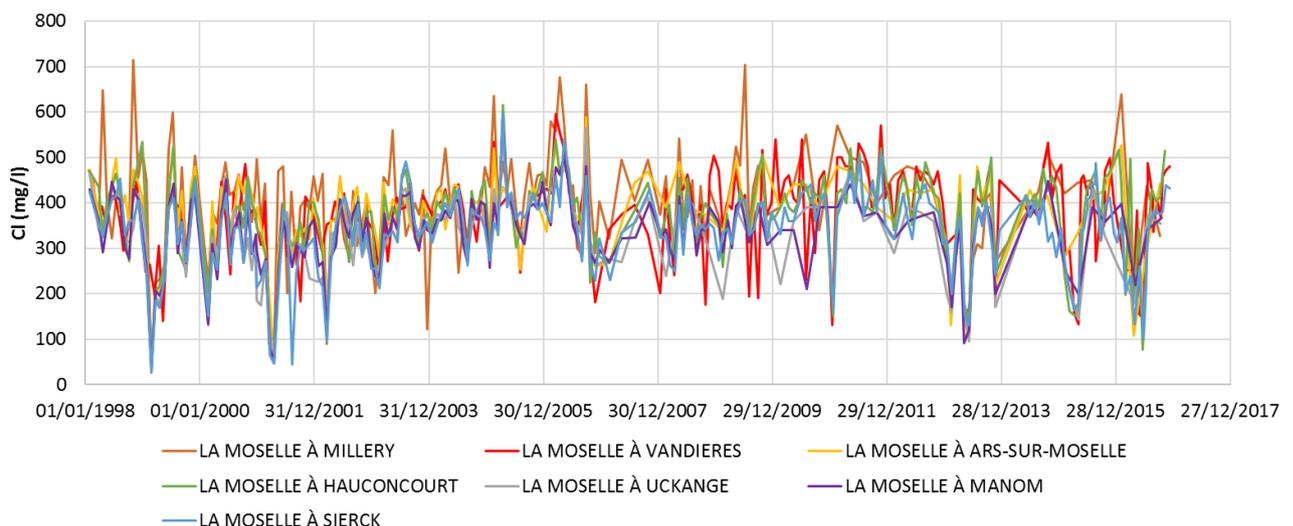


Figure 55 : Evolution des concentrations en Cl de la Moselle au droit des stations de mesure situées en aval de la confluence Meurthe-Moselle

- **Le manque de données de [CI] mesurées en nappe alluviale**

Comme précisé en Section 4.1.2, les données disponibles en [CI] mesurées dans la nappe alluviale de la Moselle sont peu nombreuses (23 ouvrages avec plus de 20 données de 1998 à 2017), les années de suivi et la fréquence de mesure au cours de ces années peuvent varier d'un ouvrage à l'autre (de 0 à 53 données par an en fonction de l'ouvrage). L'interpolation des données ne permet pas de recréer une chronique parfaitement représentative de l'évolution des [CI] au droit de ces ouvrages. Les composantes pluri-annuelles obtenues à partir de ces chroniques sont, de la même manière, faussées par ce manque de données. Pour un ouvrage donné, plus le nombre total de mesures et leur fréquence est faible, moins le test de corrélation [CI] Moselle – [CI] ouvrage sera représentatif de la relation Moselle – nappe.

Annexe 6 :

Analyse hydrologique et tendances sur les années types

Analyse hydrologique et tendances sur les années types

L'analyse hydrologique a été conduite sur les données pluviométriques, de débits et d'évolutions des concentrations en chlorures dans la Moselle du 01/09/1999 au 01/10/2017 par années calendaires :

- pluies journalières à Amnéville et à Lunéville ;
- débits journaliers à Uckange ;
- concentrations en chlorures en eau de surface à Hauconcourt : données SIERM du 28/01/1998 au 04/11/2016 (222 données), complétées par des données journalières acquises par le BRGM du 01/01/2001 au 31/12/2010.

Étude des pluies

Pour les 2 jeux de données (Amnéville et Lunéville), les moyennes mensuelles ont été calculées. Pour chaque année calendaire (de 2000 à 2017) ont été calculés la moyenne, le maximum, le minimum, la médiane, l'écart-type, et les quartiles à 25% et 75%, de manière à évaluer dans un premier temps l'évolution de la pluviométrie (Figure 56, Figure 57).

Il ressort de cette première analyse que les années 2000, 2001, 2013, ainsi que 2007 et 2016 dans une moindre mesure, ont été des années particulièrement humides. Les années 2003, 2005, 2015, 2017, ainsi que 2011 (de manière moins marqué) ont en revanche été plus sèches.

Les tendances observées entre Lunéville (au Sud de la zone d'étude) et Amnéville (au Nord) sont similaires, bien que les précipitations soient de manière générale sensiblement plus abondantes à Amnéville.

P Lunéville	Nb. d'observations	Minimum	Maximum	1er Quartile	Médiane	3ème Quartile	Moyenne	Variance (n-1)	Ecart-type (n-1)
2000	12	1,137	4,955	2,043	2,723	3,367	2,756	1,160	1,077
2001	12	1,330	4,752	1,950	2,700	3,433	2,834	1,207	1,099
2002	12	0,920	4,514	1,706	1,977	2,835	2,318	1,252	1,119
2003	12	0,426	2,700	0,643	1,255	1,822	1,318	0,571	0,756
2004	12	1,107	4,310	1,372	1,583	2,716	2,201	1,453	1,205
2005	12	1,010	3,353	1,352	1,468	2,054	1,798	0,494	0,703
2006	12	0,742	4,868	1,405	1,771	3,933	2,545	2,281	1,510
2007	12	0,050	5,177	1,768	2,477	3,652	2,628	2,510	1,584
2008	12	1,117	3,757	1,669	2,364	3,024	2,350	0,728	0,853
2009	12	0,453	3,933	1,311	2,458	3,149	2,327	1,310	1,144
2010	12	0,720	4,806	1,498	2,133	3,529	2,455	1,985	1,409
2011	12	0,393	5,403	1,040	1,268	2,843	1,936	2,090	1,446
2012	12	0,752	3,626	1,859	2,169	2,918	2,279	0,869	0,932
2013	12	1,239	4,923	1,735	2,595	3,281	2,656	1,202	1,097
2014	12	0,410	3,635	1,161	2,265	2,489	2,045	0,977	0,989
2015	12	0,619	2,963	0,920	1,559	2,420	1,687	0,736	0,858
2016	12	0,284	5,187	1,475	2,392	3,364	2,504	1,802	1,342
2017	10	0,200	3,416	1,655	2,121	2,486	2,030	1,074	1,036

Figure 56 : Analyse statistiques des données pluviométriques (moyennes mensuelles) mesurées à Amnéville. En bleu figurent les années plus humides, en orange les années plus sèches

P Amnéville	Nb. d'observations	Minimum	Maximum	1er Quartile	Médiane	3ème Quartile	Moyenne	Variance (n-1)	Ecart-type (n-1)
2000	12	1,150	5,516	2,312	3,011	3,672	3,075	1,676	1,295
2001	12	0,723	5,481	2,335	3,293	3,883	3,147	1,666	1,291
2002	12	1,280	5,664	1,616	2,273	3,442	2,707	1,972	1,404
2003	12	0,714	3,690	1,425	1,487	2,055	1,852	0,764	0,874
2004	12	0,545	5,071	1,514	1,733	2,589	2,208	1,613	1,270
2005	12	1,039	3,665	1,474	1,785	2,275	1,908	0,499	0,706
2006	12	0,407	4,535	1,053	2,210	2,648	2,073	1,312	1,145
2007	12	0,017	4,132	2,117	3,110	3,819	2,780	1,803	1,343
2008	12	1,345	4,439	1,745	2,367	2,723	2,464	0,952	0,976
2009	12	1,081	4,663	1,670	1,978	2,449	2,251	1,028	1,014
2010	12	0,790	4,113	1,781	2,652	3,434	2,563	1,195	1,093
2011	12	0,590	5,952	0,858	1,898	2,896	2,106	2,482	1,575
2012	12	0,745	4,473	1,565	2,179	2,966	2,354	1,845	1,358
2013	12	1,471	5,600	1,838	2,659	3,660	2,926	1,840	1,357
2014	12	0,170	4,403	0,990	2,495	3,359	2,341	2,133	1,460
2015	12	0,919	3,494	1,237	1,612	2,527	1,942	0,816	0,903
2016	12	0,647	6,243	1,055	2,909	3,798	2,747	3,171	1,781
2017	10	0,200	3,577	1,026	1,946	3,117	1,948	1,588	1,260

Figure 57 : Analyse statistiques des données pluviométriques (moyennes mensuelles) mesurées à Lunéville. En bleu figurent les années plus humides, en orange les années plus sèches

Deux séries de graphiques en « boîtes à moustaches » ou box-plots ont été réalisées à partir des mêmes données mensuelles pour permettre une meilleure visualisation des données statistiques numériques (Figure 58, Figure 59). Les années 2000, 2001, 2007, 2013 et 2016 ressortent bien comme étant les années les plus humides, et 2003, 2005, 2015 et 2017 comme étant les années les plus sèches connues sur ce secteur depuis l'an 2000.

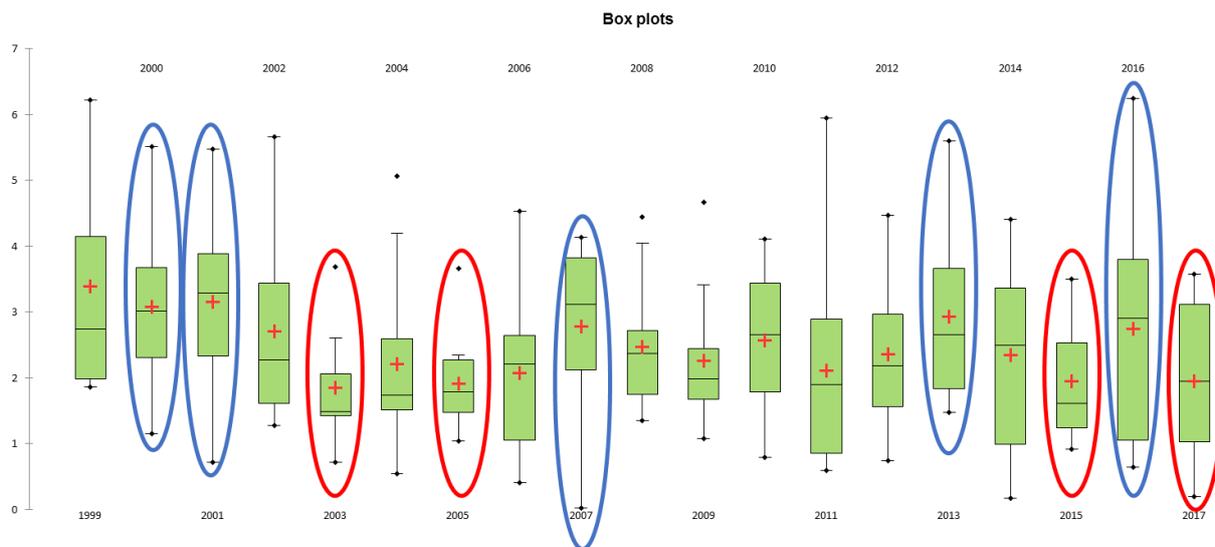


Figure 58 : Box plots obtenus à partir des moyennes mensuelles de la pluviométrie mesurée à Amnéville (ordonnée : pluies en mm). Les années les plus sèches sont entourées en rouge, les plus humides en bleu. Ne pas considérer l'année 1999 : données de septembre à décembre seulement.

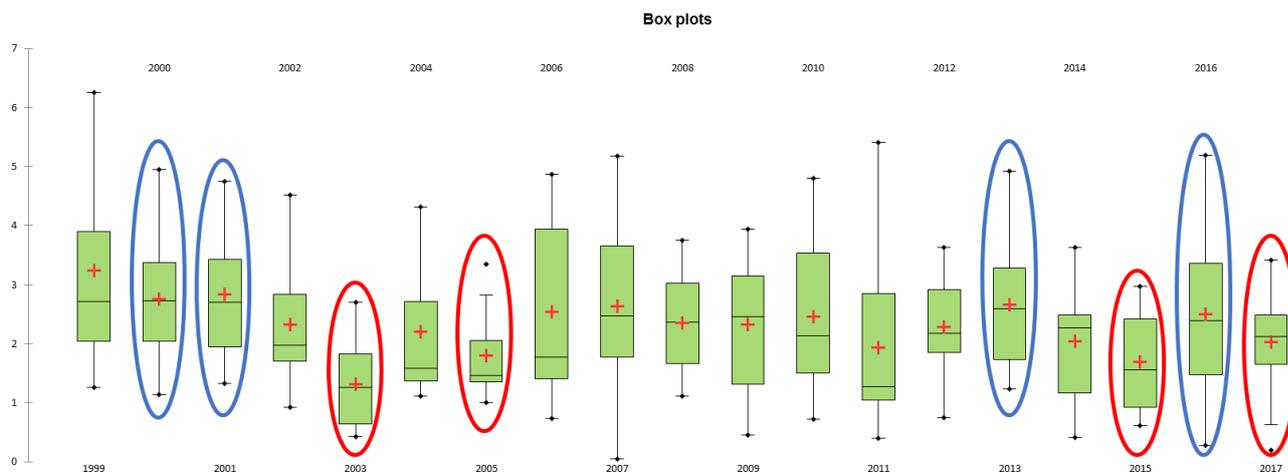


Figure 59 : Box plots obtenus à partir des moyennes mensuelles de la pluviométrie mesurée à Lunéville (ordonnée : pluies en mm). Les années les plus sèches sont entourées en rouge, les plus humides en bleu. Ne pas considérer l'année 1999 : données de septembre à décembre seulement.

Étude des débits

La chronique des débits de la Moselle mesurée à la station d'Uckange a été choisie pour réaliser cette analyse. Il s'agit de la seule chronique complète de l'ensemble des stations étudiées. La station d'Uckange est la plus au Nord de la zone d'étude, et est située entre la confluence Moselle – Orne et la confluence Moselle – Fensch.

Les données journalières ont été moyennées pour chaque année calendaire. Les valeurs alors obtenues ont été comparées au débit Médian, au Module « Quinquennale Sèche » et au Module « Quinquennale Humide » donnés par la Banque HYDRO pour la Moselle au niveau de la station d'Uckange (Figure 60).

Fréquence	Quinquennale sèche	Médiane	Quinquennale humide
Débits (m ³ /s)	110.0 [91.00;120.0]	140.0 [120.0;170.0]	170.0 [160.0;190.0]

Figure 60 : Débit Médian, Module « Quinquennale Sèche » et Module « Quinquennale Humide » donnés par la Banque HYDRO pour la Moselle au niveau de la station d'Uckange

À partir de la Figure 61, les années 2006, 2008 et 2010 peuvent être considérées comme moyennes en terme de débit. Les années 2003, 2011, 2014 et 2017 correspondraient à des années sèches de début de période déficitaire, et 2005 et 2015 à des années sèches de fin de période déficitaire (toujours en terme de débits). Les années 2000, 2001, 2002 et 2013 correspondraient à des années humides. Un box-plot a été réalisé à partir des moyennes mensuelles des mêmes données de débits. Les observations faites à partir de ce graphique sont similaires aux remarques faites en étudiant les débits statistiques donnés par la Banque HYDRO (Figure 62).

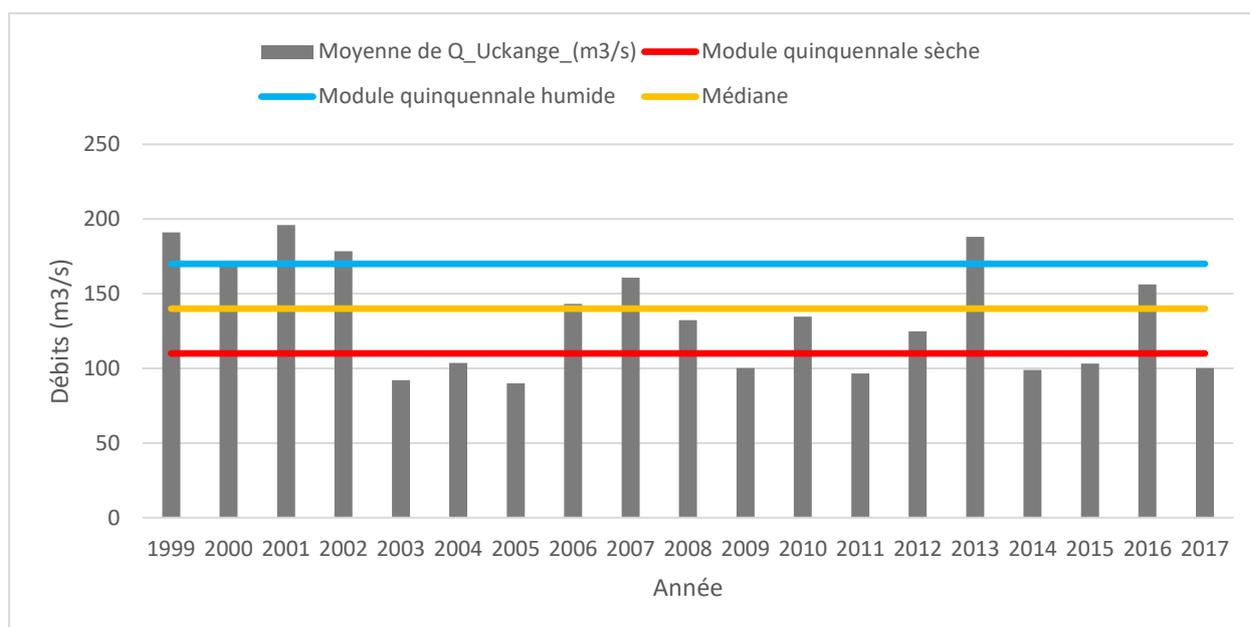


Figure 61 : Histogramme des débits moyens par an de la Moselle à Uckange, comparés aux débits Médian, Module « Quinquennale Sèche » et Module « Quinquennale Humide ». Ne pas considérer l'année 1999 : données de septembre à décembre seulement.

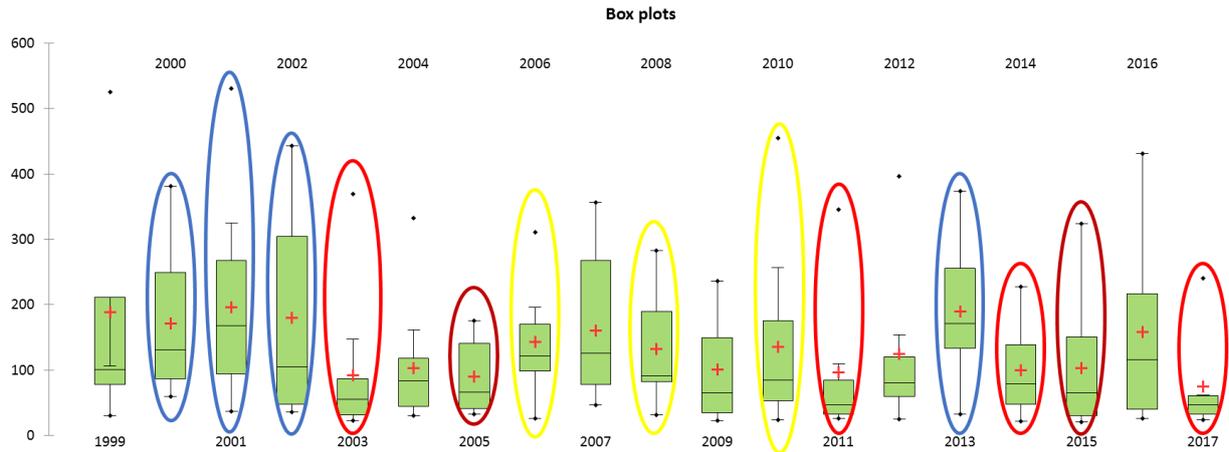


Figure 62 : Box plots obtenus à partir des moyennes mensuelles des débits de la Moselle mesurés à Uckange (ordonnée : débits en m^3/s). Les années humides sont entourées en bleu, jaune pour les années moyennes, rouge pour les années sèches de début de période de déficit, rouge sombre pour les années sèches de fin de période de déficit les plus significatives. Ne pas considérer l'année 1999 : données de septembre à décembre seulement.

Tendances observées au cours des années types

Trois séries de box-plots mensuels ont été réalisés (une par année type), à partir des données brutes journalières de [Cl] dans la Moselle au droit d'Hauconcourt. Ils permettent une comparaison plus précise des tendances observées en terme d'évolution des [Cl] dans la Moselle avec les données de débits et de précipitations journalières, mais aussi des 3 années type entre elles.

a) Année moyenne 2008

En 2008 (année moyenne) (Figure 63), les données oscillent globalement entre 100 et 500 mg(Cl)/l, les moyennes (croix rouges) oscillent entre 300 et 400 mg(Cl)/l. En terme de tendance, les [Cl] augmentent jusqu'à la fin de l'hiver (de janvier à mars). Elles chutent brusquement en avril (probablement dû à une plus forte dilution des chlorures, les débits de la Moselle étant relativement élevés de la mi-mars à la fin du mois d'avril suite aux épisodes de plus fortes précipitations de mars, Figure 64 et Figure 65). Ces concentrations augmentent de nouveau en mai pour atteindre des valeurs supérieures à celles obtenues en mars, oscillent au début de l'été (forts épisodes pluvieux en juin et mois de juillet plus sec), et diminuent tout au long de l'été jusqu'au mois de septembre (diminution des débits de la Moselle, impliquant une réduction des apports en chlorures provenant essentiellement des soudières en amont). Les concentrations augmentent ensuite progressivement au cours de l'automne. Cette année présente donc une tendance générale illustrant la dynamique des apports en chlorures (suivant les débits du cours d'eau), plus importants en période automnale et hivernale, se stabilisant au printemps-début été, et diminuant au cours de l'été. 2008 présente aussi un certain nombre d'évènements pluviométriques ponctuels plus forts (mars-avril et juin) diluant les concentrations en chlorures.

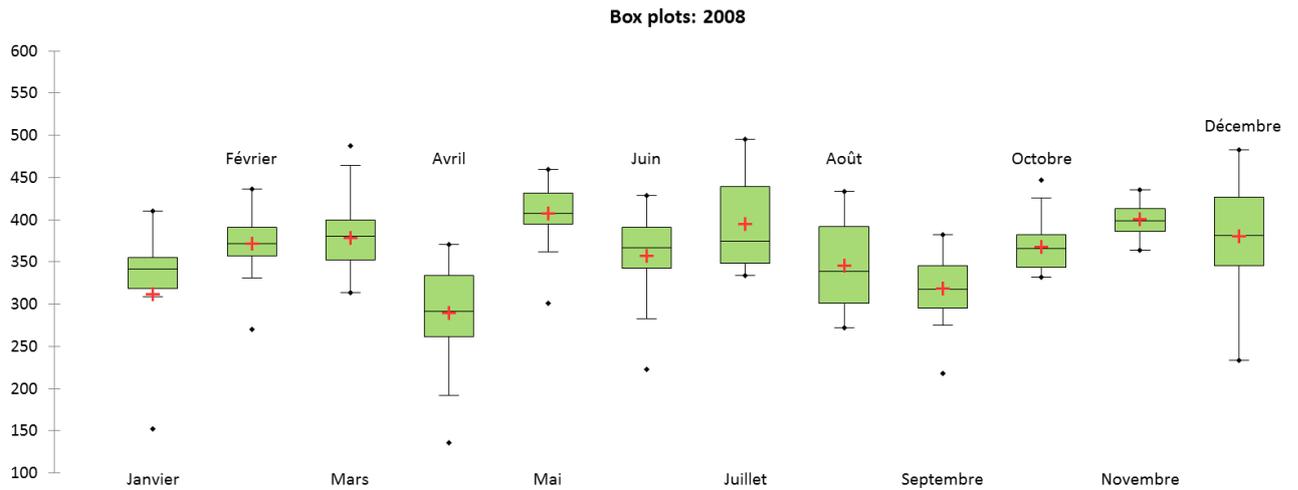


Figure 63 : Box plots obtenus à partir des [Cl] journalières mesurées dans la Moselle à Hauconcourt en 2008 (ordonnée : concentrations en mg(Cl)/l)

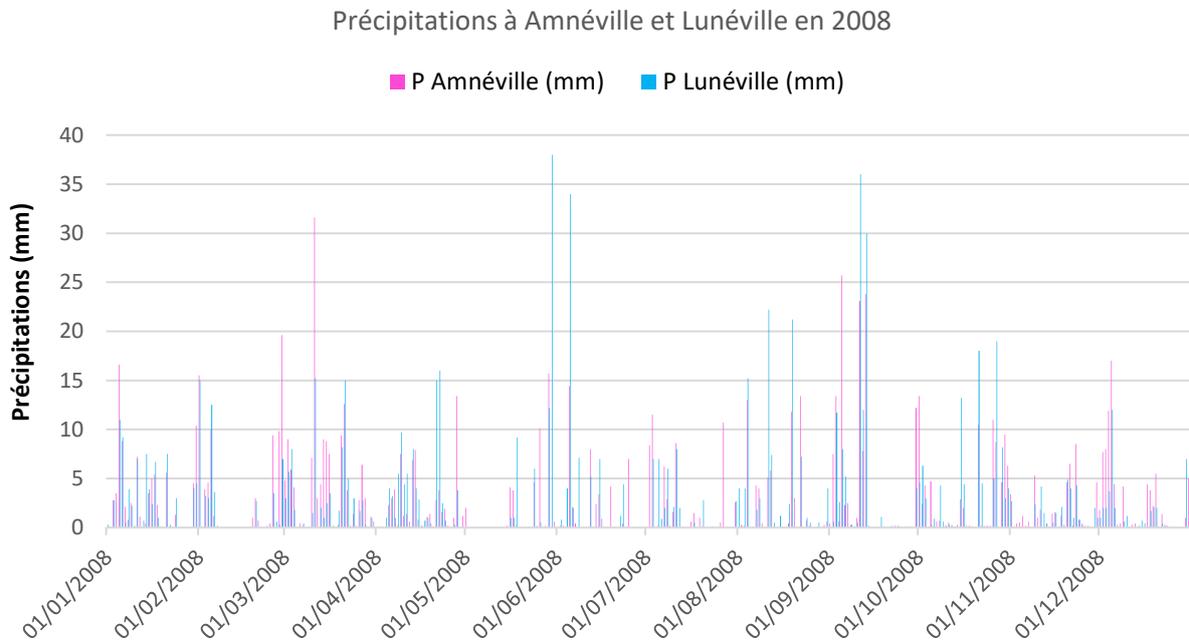


Figure 64 : Histogrammes des précipitations journalières (mm) à Amnéville et Lunéville en 2008

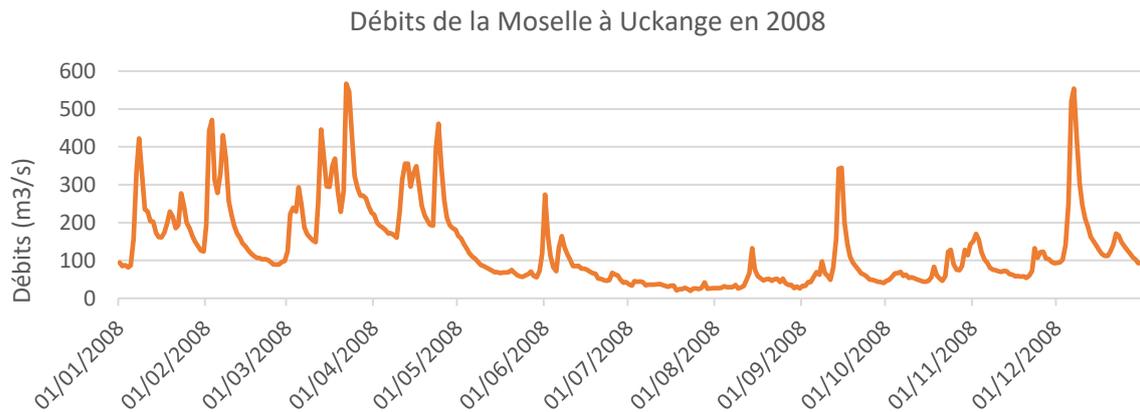


Figure 65 : Graphique représentant les débits journaliers de la Moselle mesurés à Uckange en 2008

b) Année sèche, début de période déficitaire 2003

En **2003** (année sèche, début de période déficitaire) (Figure 66), les données oscillent entre 50 et 500 mg(Cl)/l, pour des moyennes entre 200 et 450 mg(Cl)/l (échelle de variation plus large qu'en année moyenne). En terme de tendance, les [Cl] dans la Moselle ne cessent d'augmenter de janvier à août (passant d'environ 200 à 425 mg(Cl)/l en moyenne), avec une légère stabilisation en avril-mai autour de 350 mg(Cl)/l en moyenne. Elles chutent ensuite en septembre et octobre, puis augmentent de nouveau en novembre et décembre. En 2003, en dépit de plusieurs épisodes pluvieux (moins nombreux et moins intenses qu'en 2008) (Figure 67), les débits de la Moselle restent particulièrement faibles à partir du mois de mars (Figure 68). Les débits plus élevés de l'hiver explique l'augmentation des [Cl], très probablement induite par d'importants apports dus aux rejets des soudières en période de hautes-eaux. La diminution des débits et le maintien du tarissement tout au long de l'année ne permet pas de diluer suffisamment les apports en chlorures probablement encore élevés jusqu'au début de l'été. Une réduction de ces apports permet par la suite la diminution des concentrations observé au début de l'automne, mais ils augmentent de nouveau dès novembre avec une croissance sensible des débits de la Moselle.

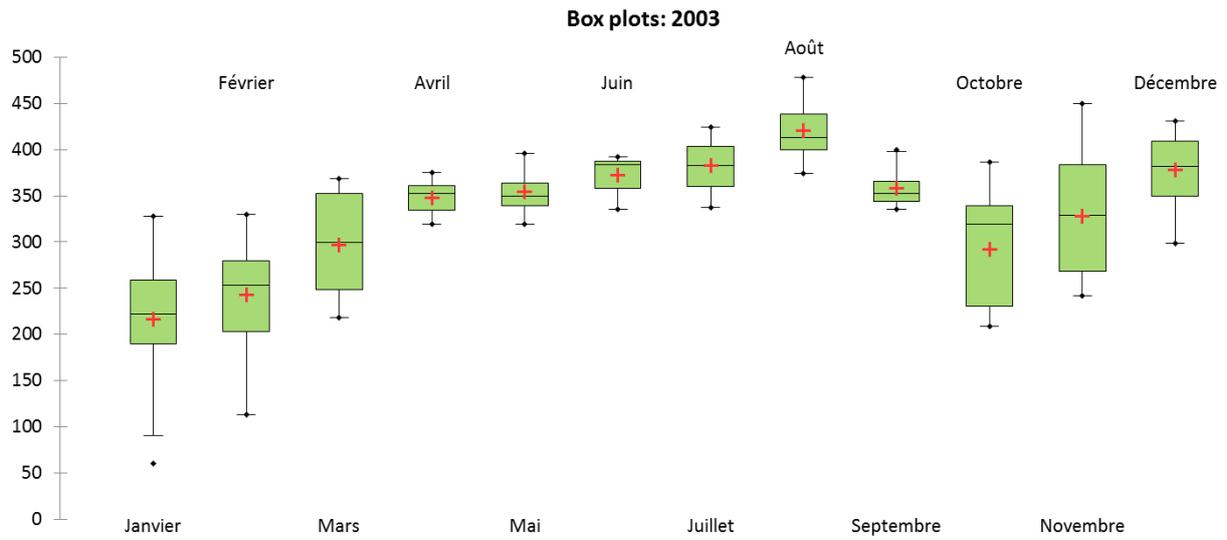


Figure 66 : Box plots obtenus à partir des [Cl] journalières mesurées dans la Moselle à Hauconcourt en 2003 (ordonnée : concentrations en mg(Cl)/l)

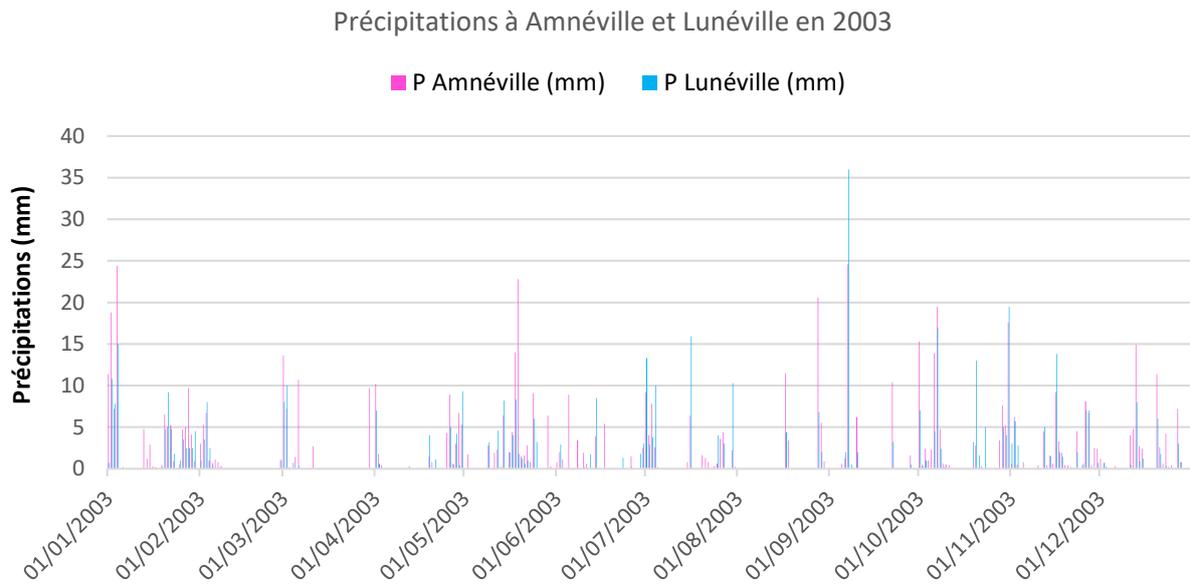


Figure 67 : Histogrammes des précipitations journalières (mm) à Amnéville et Lunéville en 2003

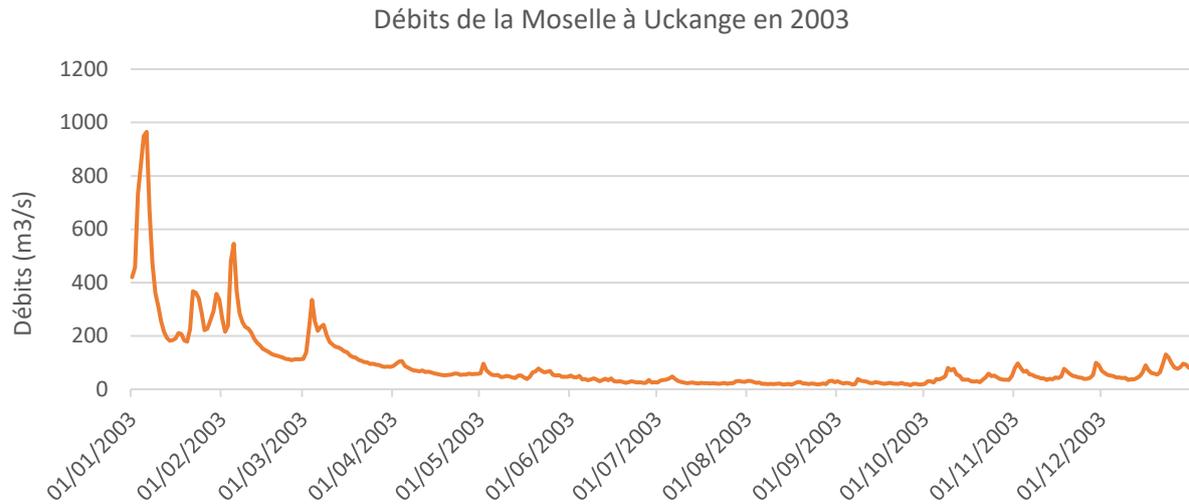


Figure 68 : Graphique représentant les débits journaliers de la Moselle mesurés à Uckange en 2003

c) Année sèche, fin de période déficitaire 2005

En **2005** (année sèche, fin de période déficitaire) (Figure 69), les données oscillent entre 250 et 600 mg(Cl)/l, pour des moyennes entre 350 et 450 mg(Cl)/l (valeurs plus élevées que dans les 2 précédents cas). En terme de tendance, les [Cl] diminuent légèrement de janvier à février et augmentent jusqu'à avril ou elles atteignent une moyenne de 450mg(Cl)/l, avec des valeurs extrêmes pouvant atteindre les 600 mg(Cl)/l. Elles diminuent au cours du printemps et de l'été (moyenne la plus basse : 350 mg(Cl)/l en août), pour augmenter de nouveau jusqu'en octobre et stagner sur la fin de l'automne entre 400 et 450 mg(Cl)/l en moyenne. La tendance générale observée en 2005 est proche de celle de l'année moyenne : augmentation des apports en hiver (suivant le débit de la Moselle, Figure 71), stagnation au printemps et début de l'été (ici, mai-juin), réduction des rejets en été (débits plus faibles et précipitations qui semblent peu participer à l'alimentation du cours d'eau, malgré de forts épisodes pluvieux, Figure 70), et nouvelle augmentation en automne (ici, très nette de septembre à octobre, mais stagnation jusqu'à décembre pouvant s'expliquer par les faibles débits d'octobre et novembre impliquant une restriction en terme de rejets). En revanche, les [Cl] sont de manière générale plus élevées, suite à 2 années déficitaires ne permettant pas, dans un premier temps, une dilution satisfaisante des apports en chlorures. Ces périodes déficitaires contraignent également les soudières à stocker davantage l'eau contaminée, qu'il est alors nécessaire de relarguer dès que le débit du cours d'eau et les [Cl] mesurée dans la Moselle (à Hauconcourt) le permettent.

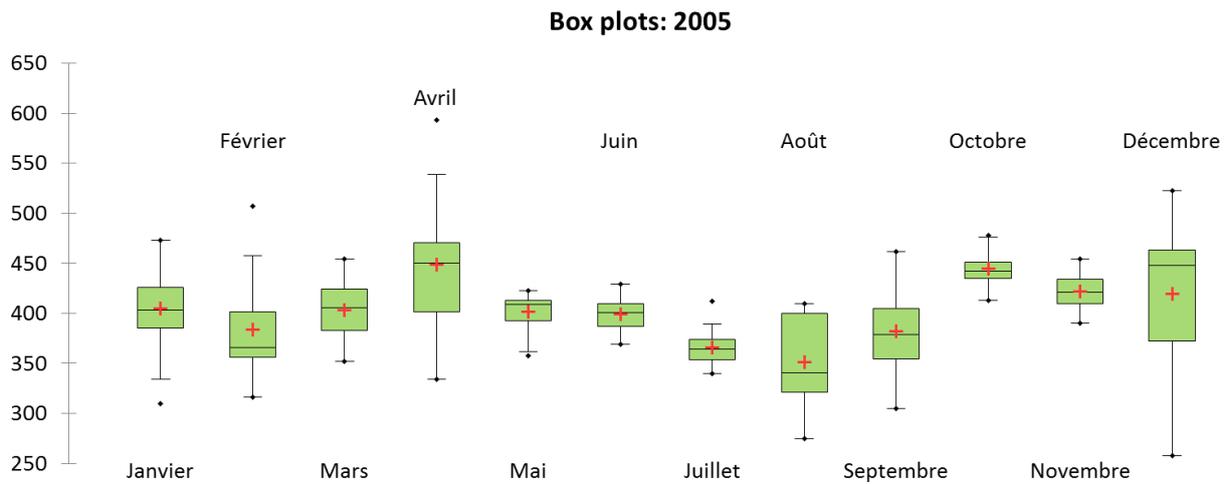


Figure 69 : Box plots obtenus à partir des [Cl] journalières mesurées dans la Moselle à Hauconcourt en 2005 (ordonnée : concentrations en mg(Cl)/l)

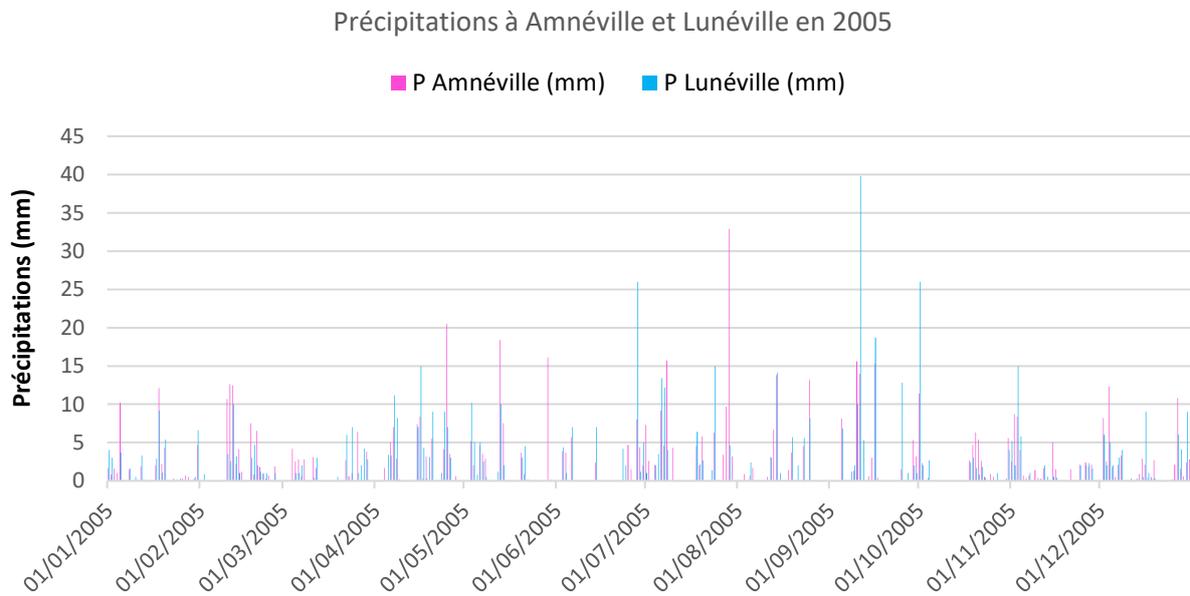


Figure 70 : Histogrammes des précipitations journalières (mm) à Amnéville et Lunéville en 2005

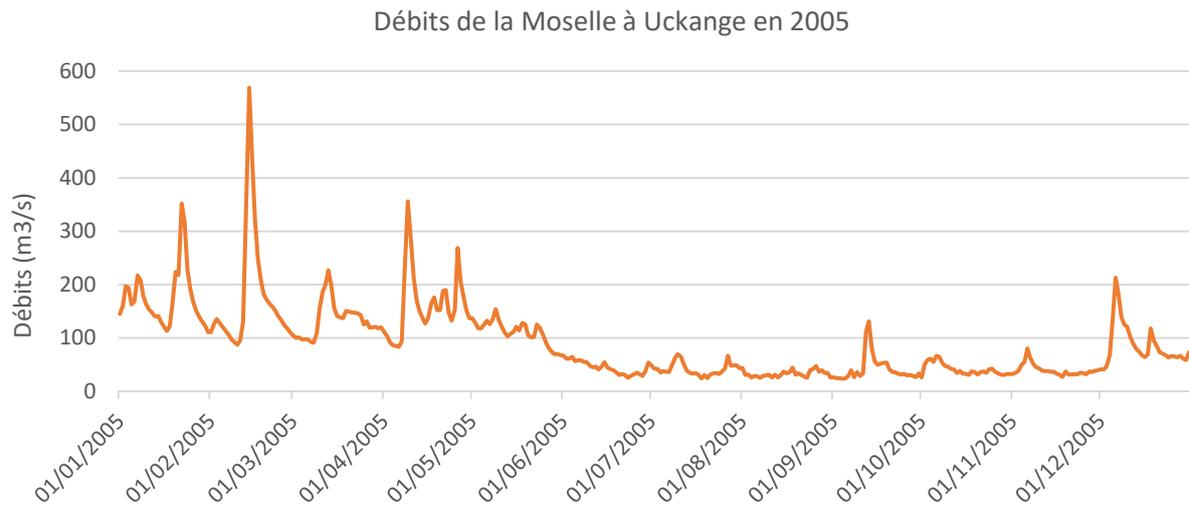


Figure 71 : Graphique représentant les débits journaliers de la Moselle mesurés à Uckange en 2005

Annexe 7 :

Sectorisation – cas particuliers

Sectorisation – cas particuliers

a) Secteur 4 (Atton, Blénod lès Pont à Mousson)

Sur ce secteur (Figure 72), seul l'ouvrage situé en rive droite de la Moselle, sur la commune d'Atton (01934X0173) renseigne suffisamment de données pour pouvoir établir une chronique en [CI]. Il avait été alors par défaut associé à l'ouvrage de collecte d'Atton, mais également aux 4 ouvrages de collecte de Blénod lès Pont à Mousson, en rive gauche. Les contextes hydrogéologiques étant différents d'une rive à l'autre, il a alors été étudié la possibilité de séparer ce secteur en 2. Sur les ouvrages de Blénod, l'ARS dispose de 19 mesures (1998-2018) de [CI] réparties sur 2 stations (54000918 - Saule Service Bas, 54000919 - Saule Service Haut) au niveau desquelles les eaux prélevées en nappe sont mélangées, sans apports extérieurs. Il a alors été choisi de prendre en compte ces données de mélange regroupées afin de créer une chronique en [CI] propre à l'ensemble des ouvrages de collecte de Blénod, en recalant la chronique reconstruite pour l'ouvrage d'Atton sur ces 19 données brutes relevées à Blénod.

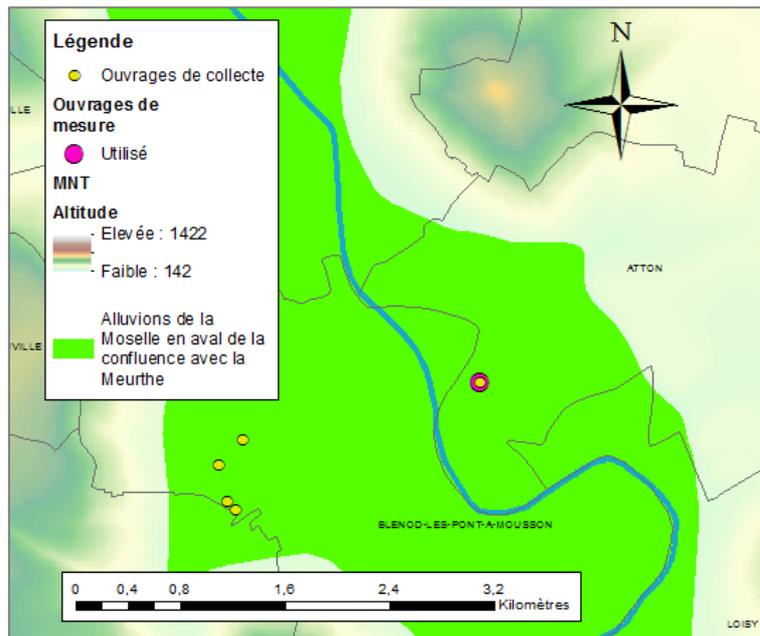


Figure 72 : Localisation des points de mesure et ouvrages de collecte du secteur 4

b) Secteur 5 (Arry, Vandières, Pagny-sur-Moselle)

Une démarche similaire a été menée sur le secteur 5 (Figure 73). Il a été proposé de diviser en 2 ce site (Arry en rive droite de la Moselle, Pagny et Vandières en rive gauche). Or, le nombre de données relevées en nappe sur la période 1998-2018 (5 pour Pagny, ouvrage 01638X0068 ; 1 pour Vandières, ouvrage 01638X0240) ne permet pas de réaliser une chronique représentative des [CI] mesurées en rive gauche. 23 données ont été relevées par l'ARS à Vandières, mais celles-ci ont été faites après mélange de l'eau prélevée en nappe à de l'eau de surface. Elles ne sont donc pas représentatives des [CI] mesurées en nappe alluviale.

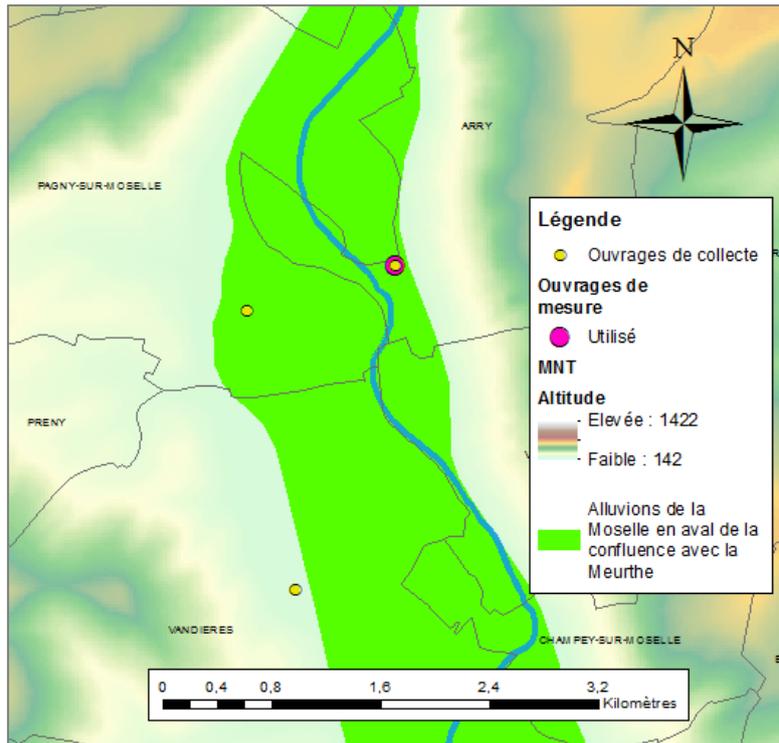


Figure 73 : Localisation des points de mesure et ouvrages de collecte du secteur 5

;

Annexe 8 :

Etude des nombres de jours de dépassement des 250 mg(Cl)/l actuels et futurs

Étude des nombres de jours de dépassement des 250 mg(Cl)/l actuels et futurs

a) Définition des tendances pour les scénarios futurs

CI ESO (mg/l)	02294X0092/F	01938X0104/P1	01938X0105/P2	01938X0117/P4	01938X0118/P5	01934X0173/P	01638X0207/P1	01638X0033/F1
Secteur	1	2	2	3	3	4	5	6
Minimum	15,60	1,00	7,00	5,10	23,10	80,00	80,90	17,10
Maximum	36,70	314,00	309,00	384,00	359,00	305,00	420,00	54,00
1er Quartile	19,60	99,75	88,00	120,00	121,50	94,00	168,00	26,00
Médiane	23,70	120,00	126,30	157,00	154,00	120,00	266,00	31,00
3ème Quartile	26,80	162,73	170,00	195,00	197,50	189,00	323,00	40,08
Moyenne	23,55	131,61	130,36	156,84	164,18	143,71	249,43	32,96
Ecart-type (n-1)	4,76	49,97	62,55	69,95	60,32	63,26	96,60	9,20

CI ESO (mg/l)	01641X0109	01641X0080/P1	01385X0059/PC	01385X0167	01381X0033/P1	01381X0086/P13	01145X0021/F	01146X0011/P1
Secteur	7	7	8	8	9	10	11	12
Minimum	95,00	16,00	55,20	69,80	18,10	7,80	10,20	10,00
Maximum	212,00	530,00	136,00	201,00	93,00	101,00	31,90	27,00
1er Quartile	134,00	220,00	89,98	104,50	40,68	23,50	18,00	13,85
Médiane	145,00	245,00	100,00	129,00	46,80	42,45	21,20	16,15
3ème Quartile	170,00	274,00	110,00	153,25	61,25	66,13	25,00	19,93
Moyenne	152,40	246,04	99,47	127,50	50,32	45,93	21,33	16,89
Ecart-type (n-1)	27,40	49,68	17,31	31,68	17,36	26,39	5,32	3,92

Figure 74 : Données statistiques obtenues à partir des données de [Cl] en nappe brutes au sein des 16 sites de mesures retenus. En rouge, [Cl] > 250 mg/l ; en jaune, [Cl] > 150 mg/l

Plusieurs classes de secteurs peuvent être faites, et permettre le calcul des chroniques de [Cl] futures en suivant 5 tendances définies en fonction de ces classes :

- **tendance future 1 (T1):** Secteurs à [Cl] ESO actuelles élevées et pouvant présenter à l'avenir une forte hausse du nombre de jours de dépassement des 250 mg(Cl)/l dans la nappe: secteurs 2 et 3 (directement après la confluence Meurthe-Moselle). Ces secteurs ont également été définis comme zones à enjeux par D. Nguyen-Thé lors de l'étude menée par le BRGM en 2011 ;
- **tendance future 2 (T2):** Secteurs à [Cl] ESO actuelles élevées et pouvant présenter à l'avenir une hausse notable du nombre de jours de dépassement des 250 mg(Cl)/l dans la nappe, moins importante que pour la tendance 1 (secteur plus éloignés de la confluence Meurthe-Moselle) : secteurs 4 (Atton uniquement), 5 (après la confluence Meurthe-Moselle, en approchant la confluence Moselle-Rupt de Mad) et aval du secteur 7 (Metz-Sud). Ces secteurs ont également été définis comme zones à enjeux par D. Nguyen-Thé lors de l'étude menée par le BRGM en 2011.

- **tendance future 3 (T3):** Secteurs à [Cl] ESO actuelles élevées à moyennes, pour lesquels une augmentation de ces concentrations et des dépassements ponctuels des 250 mg(Cl)/l pourront être observés à l'avenir : début de secteur 7 (Maison Rouge), secteur 8 (La Maxe, Hauconcourt) ;
- **tendance future 4 (T4):** Secteurs à [Cl] ESO actuelles faibles et pouvant présenter à l'avenir une augmentation de ces concentrations sans dépassements des 250 mg(Cl)/l : secteur 4 (Blénod uniquement), secteur 6 (directement après la confluence Moselle-Rupt de Mad), secteurs 9 et 10 (après la confluence Moselle-Orne), secteurs 11 et 12 (après la confluence Moselle-Fensch) ;
- **tendance future 5 (T5):** Secteurs à [Cl] ESO actuelles faibles et pour lesquels ces concentrations n'évolueraient pas à l'avenir. La chronique « futur » est alors la même que la chronique « actuel ». Ce scénario s'applique uniquement pour le secteur 1, à l'amont de la confluence Meurthe-Moselle, non impacté par les apports en chlorures de la Meurthe.

b) Synthèse du nombre de jours de dépassement

Les Figure 76 et Figure 77 synthétisent sous forme de Tableau les résultats par secteur, présentés également sur la synthétique Figure 78.

Au niveau de **la boucle de Loisy (secteurs 2 et 3)**, plusieurs dépassements sont relevés dans le cas des scénarios actuels (notamment pour l'année type sèche, fin de période déficitaire). Ces dépassements sont plus nombreux sur les ouvrages du secteur 3 situés plus au Nord. Le nombre important de dépassements au droit du secteur 3 semble plausible, par comparaison avec la proportion de dépassements observés à partir des données brutes, pour les scénarios actuels (ratios observés pour les données brutes plus élevés que ceux calculés à partir des chroniques reconstruites) (Figure 75). Ces mesures brutes suivent un calendrier de mesure régulier prévu à l'avance et non basé sur des risques de dépassements, il n'y a pas de distorsion des données observées à cause du choix des moments de prélèvement.

	D'après données brutes			D'après chronique calculée (actuel)		
	Nb mesures	Nb j>250mg/l	Ratio (%)	Nb mesures	Nb j>250mg/l	Ratio (%)
01938X0117/P4						
2003	12	0	0	365	0	0
2005	12	9	75	365	89	24,38
2008	12	0	0	365	0	0
01938X0118/P5						
2003	13	2	15,38	365	9	2,47
2005	12	5	41,67	365	40	10,96
2008	12	0	0	365	0	0

Figure 75 : Analyse de la proportion de données (brutes et reconstituées) dépassant les 250 mg(Cl)/l au droit du secteur 3 (Loisy) pour les scénarios actuels

Concernant le **secteur 4**, comme décrit précédemment, les ouvrages de Blénod (rive gauche) ne présentent pas de dépassement du seuil, contrairement au site d'Atton (rive droite). Pour ce site, le nombre de données brutes par année type est faible. Il est donc difficile de réaliser une analyse similaire à celle faite pour le secteur 3. En considérant la totalité des données disponibles de 1998 à 2016, le ratio relevé pour les données brutes (10,2%) est relativement proche de celui observé pour la chronique recalculée (8,1%) (Figure 79). Sur ce site, le nombre de jours de dépassement des 250mg(Cl)/l est plus élevé pour l'année type sèche, début de période déficitaire (87j) que pour l'année type sèche, fin de période déficitaire (34j), alors que l'inverse est observé sur les autres secteurs.

Sectorisation	Ouvrages de prélèvement	Ouvrage CI ESO	Groupe r ^{ESU} -ESO	Calcul tendance actuelle	Tendance actuelle	Calcul tendance future	Tendance future
1: Moselle avant confluence avec Meurthe	02294X0092	02294X0092/F	B	PA-ESO A-ESO IA-ESU/30	Calcul 2: Peu/pas d'influence.	PA-ESO A-ESO IA-ESU/30	Sans impact
	02294X0096				Concentrations faibles, pas de dépassement.		
Confluence Meurthe-Moselle							
2: Moselle aval confluence Meurthe 1	01938X0104	01938X0104/P1	B	PA-ESO A-ESO IA-ESU/3	Calcul 2: Peu/pas d'influence. Concentrations élevées, dépassements possibles.	PA-ESO A-ESO IA-ESU	Forte hausse du nombre de jours de dépassement
	01938X0105	01938X0105/P2	A	PA-ESO A-ESO IA-ESU/3	Calcul 2: Peu/pas d'influence. Concentrations élevées, dépassements possibles.	PA-ESO A-ESO IA-ESU	Forte hausse du nombre de jours de dépassement
3: Moselle aval confluence Meurthe 2	01938X0117	01938X0117/P4	B	PA-ESO A-ESU IA-ESU/3	Calcul 1: Influencé. Concentrations élevées, dépassements fréquents.	PA-ESO A-ESU IA-ESU	Forte hausse du nombre de jours de dépassement
	01938X0118	01938X0118/P5	B	PA-ESO A-ESU IA-ESU/3	Calcul 1: Influencé. Concentrations élevées, dépassements fréquents.	PA-ESO A-ESU IA-ESU	Forte hausse du nombre de jours de dépassement
4: Moselle aval confluence Meurthe 3	01934X0173	01934X0173/P	B	PA-ESO A-ESU IA-ESU/5	Calcul 1: Influencé. Concentrations élevées, dépassements très fréquents.	PA-ESO A-ESU IA-ESU/3	Hausse du nombre de jours de dépassement
	01934X0087	01934X0173/P basé sur stations de mélange de Blénod		PA-ESO/5 A-ESU/5 IA-ESU/15	Calcul 1: Influencé. Concentrations faibles, pas de dépassement.	PA-ESO/5 A-ESU/5 IA-ESU/10	Augmentation
	01934X0163						
	01934X0088						
01934X0151							
5: Moselle aval confluence Meurthe 4	01638X0207	01638X0207/P1	B	PA-ESO A-ESU IA-ESU/5	Calcul 1: Influencé. Concentrations très élevées, dépassements très fréquents.	PA-ESO A-ESU IA-ESU/3	Hausse du nombre de jours de dépassement
	01638X0068						
	01638X0240						
Confluence Moselle-Rupt de Mad							
6: Moselle aval confluence Rupt de Mad 1	01638X0031	01638X0033/F1	B	PA-ESO A-ESO IA-ESU/15	Calcul 2: Peu/pas d'influence. Concentrations faibles, pas de dépassement.	PA-ESO A-ESO IA-ESU/10	Augmentation
	01638X0139						
	01638X0033						
	01638X0201						
	01638X0256						
01638X0040							
7: Moselle aval confluence Rupt de Mad 2	01641X0080	01641X0080/P1	A	PA-ESO A-ESU IA-ESU/3	Calcul 1: Influencé. Concentrations très élevées, dépassements très fréquents.	PA-ESO A-ESU IA-ESU	Hausse du nombre de jours de dépassement
	01641X0090						
	01641X0091						
	01641X0093						
	01641X0094						
	01641X0099						
	01641X0100						
	01641X0101						
	01641X0103						
	01641X0104						
	01641X0105						
	01641X0136	01641X0109/P11	B	PA-ESO A-ESO IA-ESU/5	Calcul 2: Peu/pas d'influence. Concentrations élevées, dépassements possibles.	PA-ESO A-ESO IA-ESU/3	Augmentation et dépassements possibles
	01641X0137						

Figure 76 : Tableau bilan (1^{ère} partie, secteurs 1 à 7) : sectorisation des points de mesure et des ouvrages de collecte associés (en vert et gras : ouvrage de collecte identique au point de mesure), groupements de corrélation CI Moselle-CI nappe, calculs utilisés pour réaliser les chroniques de concentration en CI actuelles et futures

Sectorisation	Ouvrages de prélèvement	Ouvrage CI ESO	Groupe r ² ESU-ESO	Calcul tendance actuelle	Tendance actuelle	Calcul tendance future	Tendance future
Confluence Moselle-Seille							
8: Moselle aval confluence Seille 1	01385X0167	01385X0167/P102	C	PA-ESO A-ESO IA-ESU/5	Calcul 2: Peu/pas d'influence. Concentrations moyennes, pas de dépassements.	PA-ESO A-ESO IA-ESU/3	Augmentation et dépassements possibles
	01385X0059	01385X0059/PC	B	PA-ESO A-ESO IA-ESU/10	Calcul 2: Peu/pas d'influence. Concentrations moyennes, pas de dépassements.	PA-ESO A-ESO IA-ESU/5	Augmentation et dépassements possibles
Confluence Moselle-Orne							
9: Moselle aval confluence Orne 1	01381X0033	01381X0033/P1	C	PA-ESO A-ESO IA-ESU/10	Calcul 2: Peu/pas d'influence. Concentrations faibles, pas de dépassement.	PA-ESO A-ESO IA-ESU/5	Augmentation
	01381X0042						
	01381X0043						
	01381X0044						
	01381X0034						
	01381X0035						
	01381X0036						
	01381X0037						
	01381X0038						
	01381X0039						
10: Moselle aval confluence Orne 2	01381X0049	01381X0086/P13	C	PA-ESO A-ESO IA-ESU/10	Calcul 2: Peu/pas d'influence. Concentrations faibles, pas de dépassement.	PA-ESO A-ESO IA-ESU/5	Augmentation
	01381X0057						
	01381X0056						
	01381X0060						
	01381X0050						
	01381X0058						
	01381X0051						
	01381X0059						
	01381X0052						
	01381X0061						
01381X0053							
01381X0062							
01381X0054							
01381X0055							
01381X0088							
01381X0013							
Confluence Moselle-Fensch							
11: Moselle aval confluence Fensch 1	01145X0011	01145X0021/F	C	PA-ESO A-ESO IA-ESU/30	Calcul 2: Peu/pas d'influence. Concentrations faibles, pas de dépassement.	PA-ESO A-ESO IA-ESU/25	Augmentation
	01145X0031						
	01145X0032						
	01145X0033						
	01145X0034						
	01145X0035						
	01145X0036						
	01145X0039						
	01145X0037						
	01145X0040						
12: Moselle aval confluence Fensch 2	01146X0011	01146X0011/P1	C	PA-ESO A-ESO IA-ESU/30	Calcul 2: Peu/pas d'influence. Concentrations faibles, pas de dépassement.	PA-ESO A-ESO IA-ESU/25	Augmentation
	01146X0012						
	01146X0183						
	01146X0063						
	01146X0064						
	01146X0037						
	01146X0042						
	01145X0038						

Figure 77 : Tableau bilan (2^{ème} partie, secteurs 8 à 12) : sectorisation des points de mesure et des ouvrages de collecte associés (en vert et gras : ouvrage de collecte identique au point de mesure), groupements de corrélation CI Moselle-CI nappe, calculs utilisés pour réaliser les chroniques de concentration en CI actuelles et futures

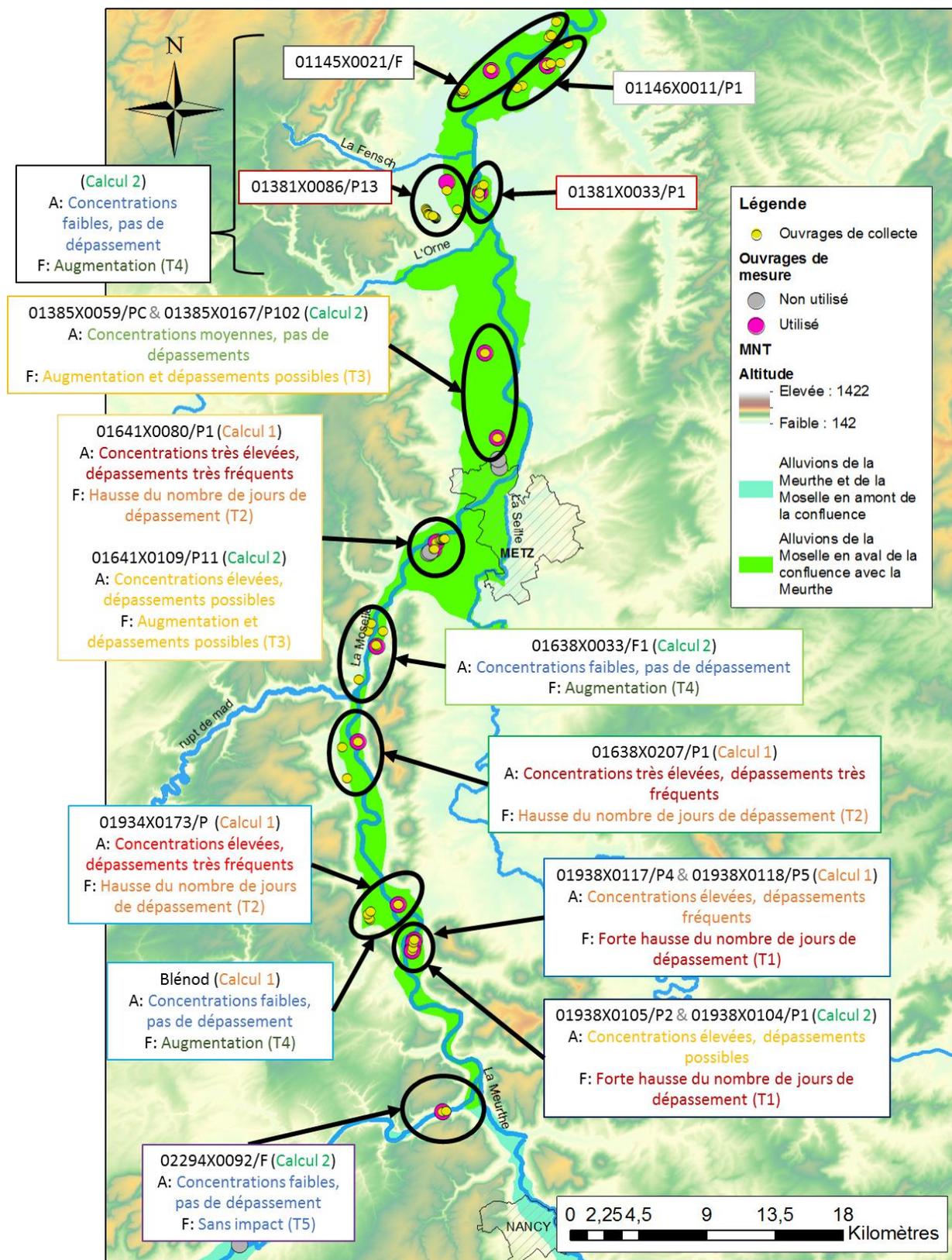


Figure 78 : Carte indicatrice du calcul utilisé pour la reconstitution des chroniques de [Cl] et des scénarios actuelles (A) et futures (F – T1 à T5) en terme de [Cl] ESO sur chaque secteur

L'origine de cette différence peut être multiple :

- physique : évènement particulier (notamment, en terme de gestion des prélèvements) en 2003 (ou 2005) ayant pu provoquer une intensification (respectivement, une réduction) de la contamination des eaux de la nappe par les eaux de la Moselle ;

Liée aux données brutes : la seule donnée brute renseignée pour l'année 2003 est largement au-delà du seuil (305mg(Cl)/l). Le signal Pluri-Annuel [Cl] ESO au droit de l'ouvrage 01934X0173 a donc été calé sur une mesure unique et très élevée alors considérée comme représentative de l'année 2003. En 2005, 3 données brutes ont été renseignées, dont seule 1 dépasse le seuil et est moins élevée qu'en 2003 (254,8mg(Cl)/l). Le signal Pluri-Annuel [Cl] ESO présente donc des valeurs plus faibles pour l'année 2005. Le manque de données brutes en [Cl] et leur mauvaise répartition au cours du temps peut, dans le cas présent, avoir faussé les tendances réelles des années type.

01934X0173	D'après données brutes			D'après chronique calculée (actuel)		
	Nb mesures	Nb j>250mg/l	Ratio (%)	Nb mesures	Nb j>250mg/l	Ratio (%)
2003	1	1	100	365	87	23,84
2005	3	1	33,33	365	34	9,32
2008	4	0	0	365	0	0
TOTAL (98-16)	49	5	10,2	6829	553	8,1

Figure 79 : Analyse de la proportion de données (brutes et reconstituées) dépassant les 250 mg(Cl)/l au droit du secteur 4 (Atton uniquement) pour les scénarios actuels

Dans le cas du **secteur 5** (Arry, Pagny, Vandières), les chroniques recalculées au droit de l'ouvrage 01638X0207 montrent que l'on a 122 jours de dépassement pour l'année type sèche, début de période déficitaire (2003), soit 1/3 du temps. Cette information a été validée par l'ARS 57. En revanche, pour ce site, l'année sèche, fin de période déficitaire (2005), présentait peu de jours de dépassement (5 jours) par rapport aux secteurs précédents, et en comparant avec l'importance des dépassements en année sèche, début de période déficitaire. Ceci pourrait également être dû à l'absence totale de donnée brute en 2005, faussant la chronique recréée sur cette année-ci (signal Pluri-Annuel [Cl] ESO se recalant de part et d'autre sur les données disponibles en 2004 et 2006). Par ailleurs, en visualisant les données brutes sur les années où plus de mesures ont été réalisées (de 2008 à 2017), les [Cl] peuvent être très élevées sur une grande partie de l'année et semblent suivre les tendances observées en ESU (comparaison avec les [Cl] ESU à Vandières, station la plus proche) (Figure 80). Il est alors choisi, exceptionnellement dans le cas de ce site, d'utiliser l'année 2011, similaire à l'année 2005 et termes de précipitations, débits et [Cl] ESU (Figure 17), pour simuler la chronique année sèche, fin de période déficitaire. Le nombre de jours de dépassement pour cette année type est alors de 320.

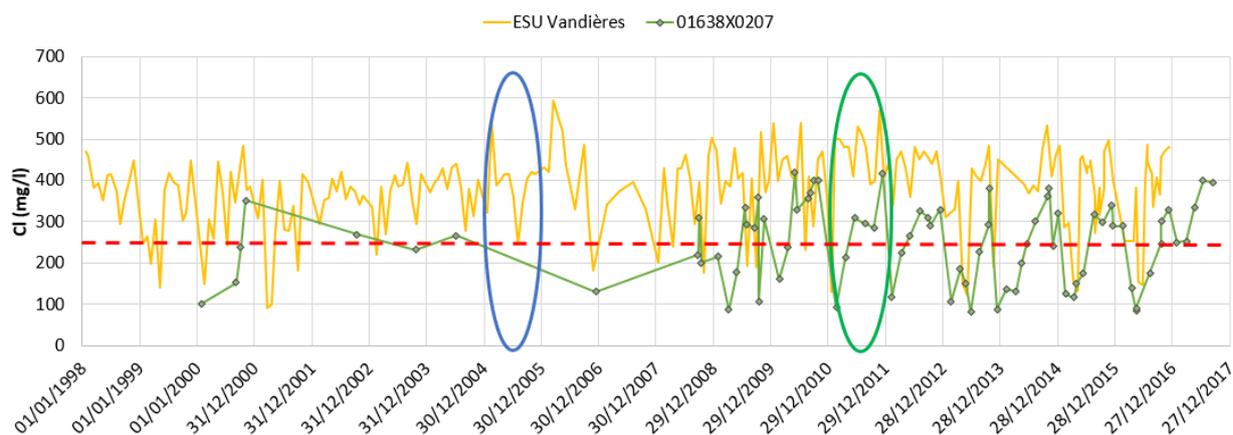


Figure 80 : Graphique représentant les données brutes de [Cl] mesurées en ESO au droit de l'ouvrage 01638X0207 et en ESU à la station de Vandières. L'année 2005 est entourée en bleu, l'année 2011 en vert. Le seuil de 250mg(Cl)/l est représenté en pointillés rouge.

Au niveau du **secteur 7** (au sud de Metz), plusieurs remarques peuvent être faites :

- le nombre de jours de dépassement au niveau du champ captant de Metz-Sud (ouvrage de mesure 01641X0080) est très élevé par rapport aux secteurs environnants. En réalisant une analyse similaire à celle faite pour le secteur 3 (Figure 81), il peut être noté que les ratios calculés pour les années type sèches, fin de période déficitaire (2005) et moyenne (2008) pour les chroniques recalculées sont proches de ceux obtenus avec les données brutes. L'année 2005 présente bien des [Cl] brutes très élevées (entre 270 et 305mg(Cl)/l toute l'année). En revanche, pour l'année type sèche, début de période déficitaire (2003), seules 2 données brutes ont été renseignées (à 196 et 222 mg(Cl)/l), il est donc possible que plusieurs dépassements de seuil, non mesurés, aient eu lieu au cours de cette année. Les différents nombres de jours de dépassement obtenus avec les chroniques reconstituées ont été validés par l'ARS 57.

01941X0080	D'après données brutes			D'après chronique calculée (actuel)		
	Nb mesures	Nb j>250mg/l	Ratio (%)	Nb mesures	Nb j>250mg/l	Ratio (%)
2003	2	0	0	365	77	21,1
2005	9	9	100	365	297	81,37
2008	17	1	5,88	365	12	3,29

Figure 81 : Analyse de la proportion de données (brutes et reconstituées) dépassant les 250 mg(Cl)/l au droit du secteur 7 (Metz-Sud uniquement) pour les scénarios actuels

- un écart très important de [Cl] ESO existe entre le champ captant de Maison Rouge (plus au sud du secteur 7, ouvrage de mesure 01641X0109) et le champ captant de Metz-Sud (ouvrage de mesure 01641X0080, plus au nord), alors que 500m seulement séparent les 2 ouvrages de mesure en question. Aucun dépassement des 250mg(Cl)/l n'est relevé pour les 3 années type (scénario actuel) au niveau de Maison Rouge (valable également pour les données brutes, disponibles de 2007 à 2010), alors qu'ils sont très nombreux à Metz-Sud (comme décrit précédemment) (Figure 82). La différence entre les 2 ouvrages de mesures pourrait s'expliquer par le fait que, en plus des apports de la Moselle à proprement parler et des étangs d'Outre-Moselle également minéralisés, la nappe soit, au niveau de Maison Rouge, en lien avec (Figure 83) une Sablière (ancienne gravière, régulant la minéralisation par infiltration de l'eau par ses berges) et 2 bassins d'infiltration (recharge artificielle) localisés sur le champ captant de Maison Rouge (Service des Eaux de la Ville de Montigny-lès-Metz, 2017). L'eau utilisée pour la recharge par bassins provient du Canal de Jouy ([Cl] élevées), mélangée avec de l'eau du Rupt de Mad ([Cl] faibles). Le mélange ne dépasse pas les 250 mg(Cl)/l. Cette réalimentation est ponctuelle, elle n'a pas lieu de manière régulière (en période estivale essentiellement, pour pallier les manques d'eau), mais elle permettrait d'éviter une contamination des eaux de la nappe au droit des captages de Maison Rouge par les eaux de la Moselle, d'où l'absence de dépassements de normes au niveau de ce site (la dilution/barrière hydraulique est très locale, et ne semble pas impacter le champ captant de Metz-Sud, où les concentrations vont être beaucoup plus élevées).

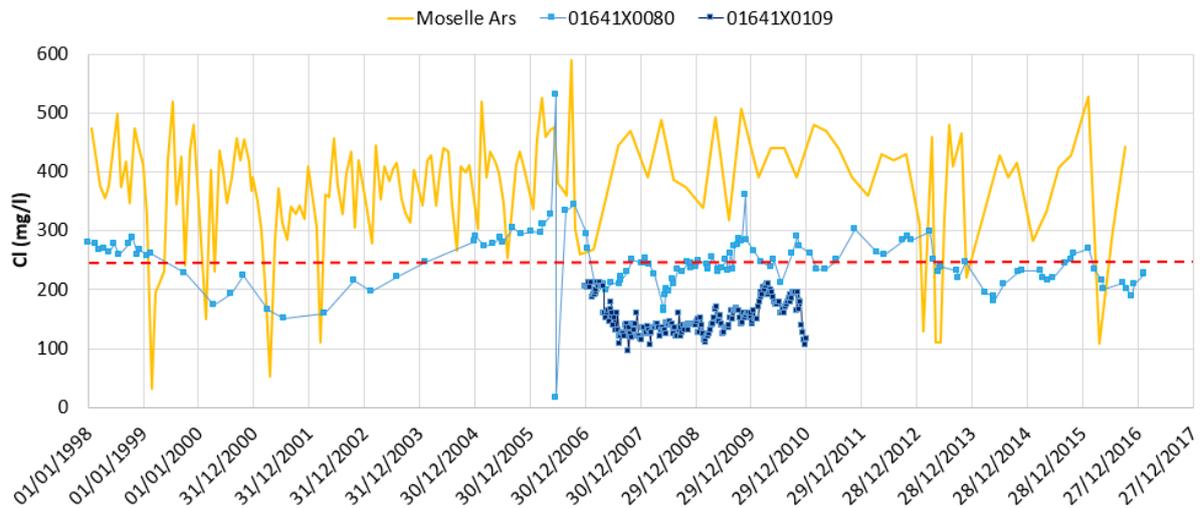


Figure 82 : Graphique représentant les données brutes de [Cl] mesurées en ESO au droit des ouvrages 01641X0109 (Maison Rouge) et 01641X0080 (Metz-Sud) et en ESU à la station d'Ars. Le seuil de 250mg(Cl)/l est représenté en pointillés rouges.

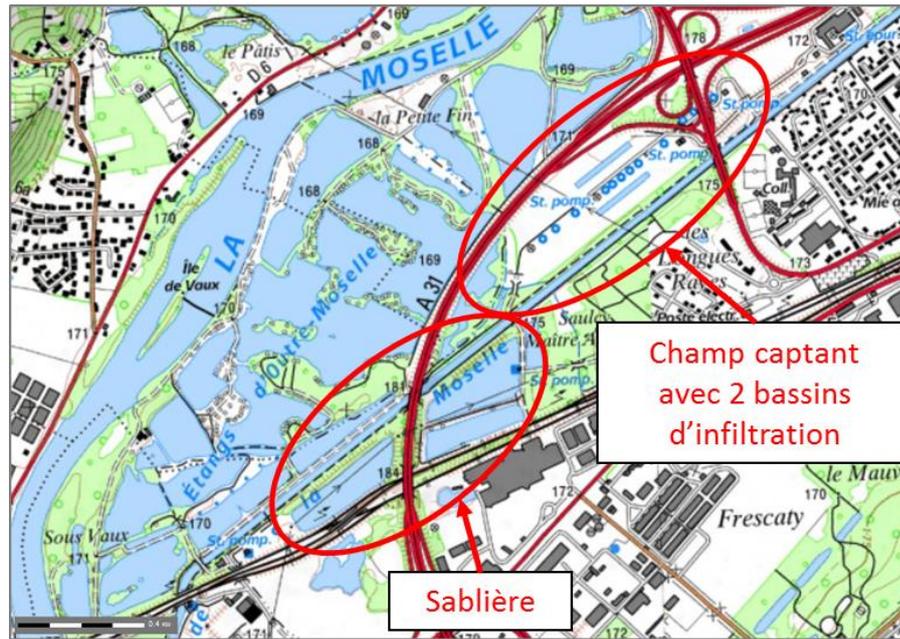


Figure 83 : Localisation du champ captant de Maison Rouge, par rapport à la Moselle, aux étangs et à la sablière (source : InfoTerre)

Le **secteur 8** (La Maxe, Hauconcourt) ne présente pas de dépassements des 250mg(Cl)/l (données brutes comme chroniques reconstituées). Ce constat est confirmé par l'ARS 57. La consultation de l'étude de sureté de l'AEP de Metz-Nord (Véolia Eau, 2011) indique également qu'il n'y a pas de dépassements sur ce site pour le moment. Toutefois, cette absence de dépassements semble être liée à la gestion des prélèvements sur ce site (les concentrations sont assez élevées, mais restent en dessous du seuil du fait de la gestion des pompages).

Annexe 9 :

Réflexions sur les incertitudes des chroniques recalculées

a) Comparaison des proportions de jours de dépassement et des critères statistiques obtenus à l'aide des données brutes et des chroniques de [Cl] ESO reconstituées :

Dans le but d'évaluer les écarts entre les résultats obtenus en considérant les données brutes ou les chroniques reconstituées, une étude statistique a été menée, pour chaque ouvrage de mesure en ESO conservé, ainsi qu'une comparaison des proportions de jours de dépassements de 250 et 200 mg(Cl)/l, sur toute la période 1998-2018. Pour chacun des 17 ouvrages conservés (16 ouvrages de mesures et site de Blénod), la moyenne, la médiane, l'écart type, le quartile 1 et le quartile 3 ont été calculé à partir des chroniques recréées et des données brutes.

L'écart entre les chroniques brutes et reconstituées a été calculé pour chaque paramètre P de la manière suivante :

$$\text{Delta } P = ((P_{\text{brute}} - P_{\text{reconstitué}}) / P_{\text{brute}}) * 100$$

Concernant les jours de dépassement, le ratio suivant a été calculé :

$$\text{Delta Dépassement} = ((\text{Nb dépassement données brutes} - \text{Nb total données brute}) * 100) - ((\text{Nb dépassement données reconstituées} - \text{Nb total données reconstituées}) * 100)$$

De manière générale, en considérant principalement la moyenne et les quartiles, on remarque que l'erreur entre les critères obtenus pour les données brutes et ceux obtenus pour les chroniques recréées est assez faible (inférieure ou proche de 10%), et représente dans la plupart des cas une sous-estimation de ce que l'on observe pour les données brutes (Figure 84). Cette sous-estimation s'explique par le fait que les chroniques aient été recréées au pas de temps journalier et présentent une plus grande échelle de valeur, permettant d'observer des variations parfois de grandes amplitudes au sein d'une même année (ce qui n'est pas systématiquement visible avec les données brutes), ainsi que d'observer des [Cl] ESO pouvant temporairement être plus faibles au sein d'une année à fortes [Cl]. Ces critères sont moins bons pour les ouvrages 02294X0092 (21 données brutes seulement sur 20 ans, les statistiques sur les données brutes sont donc biaisées par le manque de données), Blénod (reconstituée à partir de la chronique d'Atton, alors que 21 données brutes, et de données de mélange d'eau de Blénod, faussant donc les statistiques sur les données brutes), 01381X0033 et 01381X0086 (24 et 26 données brutes respectivement, trop peu également pour avoir des statistiques représentatives).

	Secteur 1	Secteur 2	Secteur 3	Secteur 4	Secteur 5	Secteur 6			
	02294X0092/F	01938X0104/P1	01938X0105/P2	01938X0117/P4	01938X0118/P5	01934X0173/P	Blenod	01638X0207/P1	01638X0033/F1
Ratios dépassement de seuil									
Delta Dépassement 250mg/l	0,00	1,40	4,21	2,12	2,04	2,11	0,00	15,00	0,00
Delta Dépassement 200mg/l	0,00	1,86	3,13	-3,68	-8,15	-12,80	0,00	-3,67	0,00
Ratios statistiques									
Delta Moyenne	12,87	2,21	-0,80	1,49	-0,20	-3,79	-24,57	9,47	-0,59
Delta Médiane	14,65	-2,59	-5,53	-1,39	-7,32	-20,68	-26,72	13,62	-5,94
Delta Ecart-type (n-1)	24,75	10,71	25,61	-4,95	-8,09	-14,91	-115,69	27,22	2,81
Delta Quartile 1	7,33	1,50	-9,67	9,77	-1,43	-3,84	3,62	-9,75	-3,64
Delta Quartile 3	15,54	3,32	5,70	-3,00	-8,43	-11,11	-45,72	14,27	1,72

	Secteur 7	Secteur 8	Secteur 9	Secteur 10	Secteur 11	Secteur 12		
	01641X0109	01641X0080/P1	01385X0059/PC	01385X0167	01381X0033/P1	01381X0086/P13	01145X0021/F	01146X0011/P1
Ratios dépassement de seuil								
Delta Dépassement 250mg/l	0,00	-6,84	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Delta Dépassement 200mg/l	0,91	11,63	0,00	1,58	0,00	0,00	0,00	0,00
Ratios statistiques								
Delta Moyenne	-4,45	3,36	0,21	-1,31	-9,21	11,98	1,48	-0,35
Delta Médiane	-8,31	-0,93	1,07	-1,73	-14,75	10,31	1,88	-4,48
Delta Ecart-type (n-1)	-1,52	-30,58	13,00	24,77	35,41	49,13	6,63	5,09
Delta Quartile 1	-1,22	10,03	0,78	-9,99	-18,38	-37,10	4,57	-3,11
Delta Quartile 3	-7,54	-3,62	-0,69	4,49	1,94	30,29	-0,29	3,10

Figure 84 : Ratios données brutes – chroniques reconstituées du nombre de jours de dépassement des 250 et 200 mg(Cl)/l et des critères statistiques, pour l'ensemble des 17 sites retenus (valeurs en rouge : écart > 10 % ; en jaune : écart > 5 % ; en bleu : écart nul)

b) Étude de sensibilité au manque de données brutes [Cl] ESO disponibles pour la reconstitution de chroniques journalières:

Dans la réflexion quant aux incertitudes des résultats obtenus à partir des chroniques reconstituées, une étude de la sensibilité des résultats obtenus aux nombre de données brutes [Cl] ESO disponibles a été menée. Pour ce faire, ont été réalisés, à partir de l'ouvrage ayant le plus de données brutes (01938X0105/P2, secteur 2, 235 données de 1998 à 2017), 10 tirages différents de 4 données par an (ce qui est observé pour les ouvrages ayant très peu de données ; soit 76 données par tirage, car 19 années considérées). Ces 10 jeux de données ont été interpolés, puis déconvolués (de la même manière qu'au moment de la réalisation des chroniques initiales de tous les ouvrages), et 10 chroniques ont été reconstruites en suivant la même méthode de calcul appliquée pour l'ouvrage 01938X0105/P2, pour les scénarios actuels et futurs (Actuel : Calcul ; n=3 ; Futur : Calcul 2 ; n=1).

Une étude statistique (moyenne, médiane, écart type, quartile 1 et quartile 3) sur les 10 chroniques issues des 10 tirages ont été menées (Figure 85, a)). La moyenne, la médiane, le maximum et le minimum des moyennes, médianes, quartiles 1 et quartiles 3 des 10 tirages ont été calculées (Figure 85, b), critères verts), afin de visualiser les différences pouvant exister d'une chronique à l'autre, en fonction des données qui ont été prises en compte. Pour ce faire, plusieurs écarts ont été calculés (Figure 85b), critères jaunes) :

- par rapport à la Moyenne des moyennes :
 $E1_{Moy} = (Min_{Moy} - Moy_{Moy})/Moy_{Moy} * 100$
 $E2_{Moy} = (Max_{Moy} - Moy_{Moy})/Moy_{Moy} * 100$
- par rapport à la Médiane des médianes :
 $E1_{Med} = (Min_{Med} - Med_{Med})/Med_{Med} * 100$
 $E2_{Med} = (Max_{Med} - Med_{Med})/Med_{Med} * 100$
- par rapport à la Moyenne des quartiles 1 :
 $E1_{Q1} = (Min_{Q1} - Moy_{Q1})/Moy_{Q1} * 100$

- par rapport à la Médiane des quartiles 1 :
 $E2_{Q1} = (\text{Min}_{Q1} - \text{Med}_{Q1}) / \text{Med}_{Q1} * 100$
- par rapport à la Moyenne des quartiles 3 :
 $E1_{Q3} = (\text{Max}_{Q3} - \text{Moy}_{Q3}) / \text{Moy}_{Q3} * 100$
- par rapport à la Médiane des quartiles 3 :
 $E2_{Q3} = (\text{Max}_{Q3} - \text{Med}_{Q3}) / \text{Med}_{Q3} * 100$

Sur la totalité des chroniques (1998-2017), les écarts par rapport à la moyenne et la médiane sont autour de 6 à 12%, la même tendance s'observe au niveau des quartiles 1 et 3. En prenant toute la période de 1998 à 2017, les 10 chroniques semblent assez similaires en termes de valeur moyenne et de dispersion des données.

a)	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10
Moyenne	119,82	132,77	140,47	131,45	127,31	127,10	146,46	131,25	123,57	132,03
Médiane	118,21	130,59	135,03	131,97	125,24	121,28	136,14	131,87	125,08	126,75
Ecart-type (n-1)	40,32	45,74	51,47	45,78	52,65	53,71	60,40	53,04	48,01	52,28
Quartile 1	93,08	102,49	102,20	100,01	88,28	90,04	103,89	97,32	91,37	100,76
Quartile 3	146,75	158,37	172,03	160,01	164,22	156,66	173,54	161,77	155,00	158,90

b)	Moyenne	Médiane	Min	Max	Ecart Min-Moy	Ecart Max-Moy	Ecart Min-Med	Ecart Max-Med
Moyenne	131,22		119,82	146,46	-8,69	11,61		
Médiane		128,67	118,21	136,14			-8,13	5,80
Quartile 1	96,94	98,67	88,28		-8,94		-10,53	
Quartile 3	160,73	159,46		173,54		7,97		8,83

Figure 85 : Résultats des analyses statistiques menées indépendamment sur les chroniques reconstituées 10 tirages (tableau a), et de l'analyse menée sur l'ensemble des résultats des 10 tirages (tableau b). Les valeurs sont en mg(Cl)/l, les écarts sont en %.

En revanche, les chroniques retenues pour les scénarios actuels et futurs sont basés sur 3 années type : moyenne (2008), sèche début de période déficitaire (2003) et sèche fin de période déficitaire (2005). En menant la même étude statistique sur ces 3 années en particuliers, les écarts entre les 10 chroniques sont plus conséquents (Figure 86, Figure 87, Figure 88). Les écarts par rapport à la moyenne et la médiane sont autour de 20 à 30 % pour l'année 2005, de 8 à 15 % pour l'année 2003 et de 17 à 20 % pour l'année 2008. Ces écarts sont nettement plus élevés lorsque l'on s'intéresse aux quartiles 1 et 3 (la dispersion des données autour de la médiane est très variable d'un tirage à l'autre pour ces 3 années type). Cette analyse met en évidence l'importance d'avoir un jeu de données le plus complet possible dans le but d'obtenir des chroniques de [Cl] les plus proches de la réalité, pour une bonne définition des scénarios actuels et futurs.

2008	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10
Moyenne	117,68	120,39	135,95	118,00	97,88	106,77	142,49	111,13	136,69	98,11
Médiane	119,20	123,30	137,48	120,88	98,81	109,36	142,53	121,32	138,12	108,74
Ecart-type (n-1)	27,04	24,58	21,33	25,60	38,77	33,76	24,69	40,46	20,04	48,04
Quartile 1	102,28	107,08	124,07	102,73	66,44	81,76	124,81	74,31	127,37	52,08
Quartile 3	136,62	137,74	149,93	136,85	126,11	131,83	161,71	145,22	149,38	137,75

	Moyenne	Médiane	Min	Max	Ecart Min-Moy	Ecart Max-Moy	Ecart Min-Med	Ecart Max-Med
Moyenne	118,51		97,88	142,49	-17,41	20,23		
Médiane		121,10	98,81	142,53			-18,41	17,69
Quartile 1	96,29	102,51	52,08		-45,92		-49,19	
Quartile 3	141,31	137,75		161,71		14,43		17,39

Figure 86 : Résultats des analyses statistiques menées indépendamment sur les chroniques reconstituées 10 tirages (rouge : valeur élevée, bleu : valeur faible ; jaune : ET élevé, vert : ET faible), et de l'analyse menée sur l'ensemble des résultats des 10 tirages, pour l'année type moyenne (2008). Les valeurs sont en mg(Cl)/l, les écarts en %.

2003	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10
Moyenne	107,21	115,61	97,79	99,12	102,40	114,55	97,29	110,73	105,86	109,08
Médiane	109,25	111,21	87,27	89,81	99,33	116,75	89,79	105,77	99,56	104,82
Ecart-type (n-1)	27,27	42,20	42,15	38,54	38,70	33,68	40,05	41,99	45,62	39,17
Quartile 1	96,26	94,46	74,62	77,61	85,33	102,41	76,45	89,56	79,79	91,23
Quartile 3	120,15	139,19	119,19	118,61	123,12	130,19	118,47	133,42	135,35	128,50

	Moyenne	Médiane	Min	Max	Ecart Min-Moy	Ecart Max-Moy	Ecart Min-Med	Ecart Max-Med
Moyenne	105,96		97,29	115,61	-8,19	9,11		
Médiane		102,19	87,27	116,75			-14,60	14,24
Quartile 1	86,77	87,44	74,62		-14,00		-14,66	
Quartile 3	126,62	125,81		139,19		9,93		10,64

Figure 87 : Résultats des analyses statistiques menées indépendamment sur les chroniques reconstituées 10 tirages (rouge : valeur élevée, bleu : valeur faible ; jaune : ET élevé, vert : ET faible), et de l'analyse menée sur l'ensemble des résultats des 10 tirages, pour l'année type sèche, début de période déficitaire (2003). Les valeurs sont en mg(Cl)/l, les écarts en %.

2005	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10
Moyenne	157,66	172,47	227,09	164,51	220,48	225,83	270,89	203,52	205,76	239,57
Médiane	166,31	169,64	227,03	172,26	216,31	213,61	267,44	200,82	216,61	239,19
Ecart-type (n-1)	45,53	44,35	15,83	55,48	24,26	34,86	24,05	30,01	43,53	15,87
Quartile 1	124,25	135,60	215,93	123,48	202,98	200,54	254,47	183,06	178,39	231,40
Quartile 3	192,97	209,98	237,65	211,47	240,96	257,59	289,47	223,24	240,38	249,25

	Moyenne	Médiane	Min	Max	Ecart Min-Moy	Ecart Max-Moy	Ecart Min-Med	Ecart Max-Med
Moyenne	208,78		157,66	270,89	-24,48	29,75		
Médiane		214,96	166,31	267,44			-22,63	24,41
Quartile 1	185,01	191,80	123,48		-33,26		-35,62	
Quartile 3	235,30	239,02		289,47		23,02		21,11

Figure 88 : Résultats des analyses statistiques menées indépendamment sur les chroniques reconstituées 10 tirages (rouge : valeur élevée, bleu : valeur faible ; jaune : ET élevé, vert : ET faible), et de l'analyse menée sur l'ensemble des résultats des 10 tirages, pour l'année type sèche, fin de période déficitaire (2005). Les valeurs sont en mg(Cl)/l, les écarts en %.

Cette analyse permet également de définir le degré d'incertitude à appliquer aux chroniques recréées pour établir les scénarios, pour l'ensemble des ouvrages (en se basant sur les écarts par rapport à la moyenne et à la médiane pour les 3 années type). Des incertitudes dites « Optimistes » de -15 et -20 % sont appliquées à l'ensemble des chroniques des 17 ouvrages de mesure, ainsi que des incertitudes « Pessimistes » de + 15 et + 20 %. En terme de nombre de jours de dépassement des seuils, l'application de ces incertitudes impacte essentiellement les ouvrages allant de la confluence Meurthe-Moselle à la confluence avec le Rupt de Mad, ainsi que les ouvrages de Maison Rouge, Metz Sud et à l'amont de la confluence avec l'Orne (Figure 89). Pour ces secteurs à enjeu, l'acquisition de données haute fréquence s'avère indispensable pour permettre de préciser les scénarios définis avec les données actuellement disponibles.

Scénarios sans incertitude									
Seuil = 250 mg/l	Secteur 1	Secteur 2		Secteur 3		Secteur 4		Secteur 5	Secteur 6
	02294X0092/F	01938X0104/P1	01938X0105/P2	01938X0117/P4	01938X0118/P5	01934X0173/P	Blenod	01638X0207/P1	01638X0033/F1
Année moyenne - Actuelle	0	0	0	0	0	0	0	6	0
Année moyenne - Future	0	7	4	4	4	0	0	30	0
Année sèche - Actuelle	0	0	0	0	9	87	0	122	0
Année sèche - Future	0	1	12	8	38	88	0	133	0
Année sèche + - Actuelle	0	2	4	89	40	34	0	320	0
Année sèche + - Future	0	21	40	137	92	41	0	321	0
Seuil = 250 mg/l	Secteur 7		Secteur 8		Secteur 9	Secteur 10	Secteur 11	Secteur 12	
	01641X0109	01641X0080/P1	01385X0059/PC	01385X0167	01381X0033/P1	01381X0086/P13	01145X0021/F	01146X0011/P1	
Année moyenne - Actuelle	0	12	0	0	0	0	0	0	
Année moyenne - Future	0	105	0	0	0	0	0	0	
Année sèche - Actuelle	0	77	0	0	0	0	0	0	
Année sèche - Future	0	121	0	0	0	0	0	0	
Année sèche + - Actuelle	0	297	0	0	0	0	0	0	
Année sèche + - Future	3	298	0	0	0	0	0	0	
Scénarios avec incertitude -15%									
Seuil = 250 mg/l	Secteur 1	Secteur 2		Secteur 3		Secteur 4		Secteur 5	Secteur 6
	02294X0092/F	01938X0104/P1	01938X0105/P2	01938X0117/P4	01938X0118/P5	01934X0173/P	Blenod	01638X0207/P1	01638X0033/F1
Année moyenne - Actuelle	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Année moyenne - Future	0	1	0	0	0	0	0	0	0
Année sèche - Actuelle	0	0	0	0	0	0	0	20	0
Année sèche - Future	0	0	1	0	7	5	0	22	0
Année sèche + - Actuelle	0	0	0	7	1	0	0	118	0
Année sèche + - Future	0	4	5	28	15	1	0	132	0
Seuil = 250 mg/l	Secteur 7		Secteur 8		Secteur 9	Secteur 10	Secteur 11	Secteur 12	
	01641X0109	01641X0080/P1	01385X0059/PC	01385X0167	01381X0033/P1	01381X0086/P13	01145X0021/F	01146X0011/P1	
Année moyenne - Actuelle	0	0	0	0	0	0	0	0	
Année moyenne - Future	0	28	0	0	0	0	0	0	
Année sèche - Actuelle	0	3	0	0	0	0	0	0	
Année sèche - Future	0	22	0	0	0	0	0	0	
Année sèche + - Actuelle	0	55	0	0	0	0	0	0	
Année sèche + - Future	0	116	0	0	0	0	0	0	
Scénarios avec incertitude +15%									
Seuil = 250 mg/l	Secteur 1	Secteur 2		Secteur 3		Secteur 4		Secteur 5	Secteur 6
	02294X0092/F	01938X0104/P1	01938X0105/P2	01938X0117/P4	01938X0118/P5	01934X0173/P	Blenod	01638X0207/P1	01638X0033/F1
Année moyenne - Actuelle	0	0	0	0	0	0	0	226	0
Année moyenne - Future	0	30	18	21	22	0	0	242	0
Année sèche - Actuelle	0	0	0	6	76	163	0	231	0
Année sèche - Future	0	12	29	33	114	183	0	237	0
Année sèche + - Actuelle	0	8	89	279	227	150	0	332	0
Année sèche + - Future	0	79	145	286	254	153	0	332	0
Seuil = 250 mg/l	Secteur 7		Secteur 8		Secteur 9	Secteur 10	Secteur 11	Secteur 12	
	01641X0109	01641X0080/P1	01385X0059/PC	01385X0167	01381X0033/P1	01381X0086/P13	01145X0021/F	01146X0011/P1	
Année moyenne - Actuelle	0	173	0	0	0	0	0	0	
Année moyenne - Future	0	207	0	0	0	0	0	0	
Année sèche - Actuelle	0	175	0	0	0	0	0	0	
Année sèche - Future	9	214	0	0	0	0	0	0	
Année sèche + - Actuelle	4	361	0	0	0	0	0	0	
Année sèche + - Future	18	361	0	1	0	0	0	0	

Figure 89 : Nombre de jours de dépassement des 250mg(Cl)/l pour l'ensemble des ouvrages de mesure en ESO, pour les scénarios actuels et futurs sur les 3 années type (sans incertitudes, avec incertitudes de - 15 et + 15 %). Bleu : pas de dépassement ; rouge : nombre important de dépassements

Annexe 10 :

Scénarios de prospective caractérisés par les membres du Groupe de Travail

Méthode de construction des scénarios de prospective

Pré-construction de scénarios de contextes nationaux

La première étape du travail a consisté à pré-construire divers scénarios présentant l'évolution du contexte socio-économique national et international à horizon 2050. Présentés aux membres du Groupe de Travail en début d'atelier, ces scénarios décrivent les grandes orientations externes au territoire susceptibles d'en impacter l'évolution à horizon 2050. Ils fournissent le cadre à l'intérieur duquel devront s'inscrire les scénarios construits par les parties prenantes à l'échelle du territoire d'étude. Une telle démarche assure que les scénarios locaux soient cohérents avec les travaux de prospective disponibles dans la littérature.

Un ensemble de tendances lourdes et de facteurs de changements sociaux, politiques, démographiques, économiques et environnementaux susceptibles d'influencer l'évolution du territoire à horizon 2050 a ainsi été identifié. Les différentes modalités d'évolution envisageables de ces facteurs de changement ont ensuite été combinées de façon à construire trois scénarios de contextes nationaux et internationaux. Ce travail a été réalisé en s'appuyant sur l'analyse transversale de divers travaux de prospective sectoriels (EEA, 2007 ; Vert et al, 2013 ; Vert et Portet, 2010 ; Bourgau et al, 2008).

Les principales caractéristiques de chaque scénario sont présentées dans la Figure 90. Le Scénario 1 s'inscrit dans un contexte de mondialisation dans lequel la libéralisation des marchés en cours en Europe depuis la seconde moitié du XX^{ème} siècle se poursuit et les échanges internationaux de biens et de services s'intensifient. Le Scénario 2 s'appuie sur une hypothèse de régionalisation dans laquelle l'État se désengage peu à peu de la sphère économique et transfert de nombreuses compétences aux régions dont l'autonomie s'accroît. Le Scénario 3 se caractérise par la montée des préoccupations environnementales qui impactent les modes de production et de consommation.

Si une telle démarche contraint nécessairement le champ des possibles considérés dans les scénarios à l'échelle du territoire d'étude, elle a l'avantage d'orienter les acteurs vers des futurs probables au regard des travaux existants. Par ailleurs, le délai imparti à la construction des scénarios dans le cadre de ce schéma ne permettant pas une analyse exhaustive des facteurs de changement à l'échelle locale, cette démarche constitue une alternative efficace de co-construction de scénarios dont le caractère participatif se concentre sur la mise en débat, la décomposition et la déclinaison locale de scénarios préconstruits.

Déclinaison locale des scénarios

Deux sous-groupes de travail ont ensuite été formés en vue de construire, par département, des déclinaisons locales de ces scénarios de contexte qui soient cohérentes et proposent des images contrastées du territoire à horizon 2050. Chaque groupe s'est réuni pendant 2 heures durant lesquelles une analyse rétrospective de l'évolution passée du territoire (occupation du sol, population, emploi, etc.) leur a été présentée. Un diagnostic partagé de la situation actuelle a ainsi pu être élaboré. L'évolution future à l'échelle locale des principaux facteurs de changement identifiés dans les scénarios de contexte nationaux a ensuite été débattue (développement économique, modes de vie, etc.). Pour ce faire, chaque facteur de changement a été étudié séparément en vue de construire des hypothèses contrastées quant à son évolution future sur le territoire. En pratique, la parole a été donnée à tour de rôle aux participants lors de tours de table. Il a été demandé à chacun de donner son impression sur les scénarios préconstruits, d'indiquer ce qui lui semblait réaliste ou non, et d'identifier les ruptures ou évolutions que chaque scénario pourrait générer à l'échelle locale, compte tenu des spécificités institutionnelles, politiques et économiques de chaque département.

Mise en commun des résultats

Les deux sous-groupes ont ensuite été réunis en séance plénière en vue de mettre en commun leurs résultats. Un représentant par sous-groupe a été désigné pour restituer les réflexions de son groupe à l'ensemble des parties-prenantes. Cette mise en commun a permis d'identifier les points de convergence des scénarios construits par département. Il a également été demandé aux participants de s'accorder sur le libellé de chaque scénario.

Mise en récit des scénarios à l'échelle du territoire d'étude

À l'issue de l'atelier, les scénarios ont été mis en récit de façon à clarifier les cheminements logiques qui conduisent à ces images contrastées du territoire à horizon 2050. Ces scénarios narratifs ont ensuite été envoyés pour validation aux membres du Groupe de Travail.

Les trois scénarios de prospective territoriale ainsi construits partent d'une situation initiale connue et en explore les futurs possibles, qu'ils soient souhaitables ou non : ce sont des scénarios exploratoires. Ils considèrent des hypothèses de rupture dont les probabilités d'occurrence sont variables. Par conséquent, ils ne cherchent pas nécessairement à s'inscrire dans la continuité des tendances actuelles : ce sont des scénarios contrastés. Enfin, ils ont été construits avec l'aide d'un groupe de travail constitué d'acteurs locaux réunis lors d'un atelier : ce sont des scénarios de prospective participative. Chacun de ces scénarios est à la fois cohérent en interne et cohérent avec le contexte national dans lequel il s'inscrit.

Facteurs de changements	Variables clés	Scénarios de contextes nationaux		
		Scénario 1	Scénario 2	Scénario 3
Développement économique	<ul style="list-style-type: none"> - Échanges internationaux - Croissance économique - Emploi 	<ul style="list-style-type: none"> - Accroissement des échanges - Libéralisation de l'économie - Forte dépendance aux énergies fossiles 	<ul style="list-style-type: none"> - Baisse des échanges et repli régional - Dynamisme économique porté par les avantages comparatifs des territoires 	<ul style="list-style-type: none"> - Baisse des échanges internationaux au profit des échanges de proximité - Croissance sobre
Politiques publiques et gouvernance	<ul style="list-style-type: none"> - Régulation économique - Politiques agricoles - Politiques climatiques 	<ul style="list-style-type: none"> - Faible interventionnisme de l'État - Disparition progressive de la PAC - Politiques climatiques peu ambitieuses 	<ul style="list-style-type: none"> - Transfert de compétences aux régions - PAC Territorialisée - Engagements volontaires en faveur du climat - Protectionnisme économique 	<ul style="list-style-type: none"> - Verdissement de la PAC - Politiques climatiques ambitieuses (taxe carbone) - Gouvernance mondiale autour de la transition énergétique
Agriculture	<ul style="list-style-type: none"> - Développement agricole - Agriculture urbains 	<ul style="list-style-type: none"> - Forte volatilité des prix agricoles - Poursuite de la déprise agricole - Pilotage de l'agriculture par l'aval (IAA) 	<ul style="list-style-type: none"> - Recherche d'une autonomie énergétique et alimentaire - Développement de l'agriculture dans les secteurs les plus productifs - Structuration régionale des filières 	<ul style="list-style-type: none"> - Soutien aux zones vulnérables - Valorisation des services fournis par l'agriculture (biodiversité, paysages)
Territoire et gestion de l'espace	<ul style="list-style-type: none"> - Organisation territoriale - Urbanisation - Mobilité 	<ul style="list-style-type: none"> - Faible maîtrise foncière - Étalement urbain - Abandon des espaces naturels 	<ul style="list-style-type: none"> - Polycentrisme - Développement des centres bourgs et occupation des dents creuses 	<ul style="list-style-type: none"> - Préservation des espaces naturels - Densification urbaines
Développement durable	<ul style="list-style-type: none"> - Protection de l'environnement - Cohésion sociale 	<ul style="list-style-type: none"> - Arbitrages en faveur des enjeux économiques 	<ul style="list-style-type: none"> - Arbitrages en faveur de la cohésion sociale - Renforcement des atouts préexistants des territoires 	<ul style="list-style-type: none"> - Arbitrages en faveur des enjeux environnementaux - Développement des énergies renouvelables
Modes de vie et comportements	<ul style="list-style-type: none"> - Évolution de la demande - Conscience environnementale - Exigences sanitaires 	<ul style="list-style-type: none"> - Désengagement des individus de la gestion des affaires publiques - Consommation de masse (grandes surfaces) 	<ul style="list-style-type: none"> - Développement des circuits courts - Renforcement des exigences sanitaires 	<ul style="list-style-type: none"> - Circuits courts/bio - Recherche d'équité sociale et de bien-être - Tourisme vert diversifié

Figure 90 : Principales caractéristiques des scénarios de contextes nationaux

Quantification de la demande en eau potable à horizon 2050

La dernière étape consiste à estimer l'impact de ces scénarios sur l'évolution de la demande en eau potable à horizon 2050 sur chaque UGE du territoire d'étude.

Pour les usages domestiques et assimilés, l'évolution de la demande résulte de l'évolution conjointe de la demande individuelle (en m³/hab) et de la population (en nombre d'habitants). La croissance démographique à horizon 2050 a ainsi été estimée par scénario et par département en tenant compte des tendances passées et des projections du modèle OMPHALE de l'INSEE dont les valeurs sont présentées dans la Figure 91. Bien que la population ait tendance à décroître dans les deux départements depuis 2008, les projections de l'INSEE font apparaître un regain démographique qui se justifie par un solde migratoire positif et une relance de la natalité à horizon 2040. Quant à la demande individuelle, elle a été estimée en considérant comme référence la baisse de la consommation domestique journalière d'eau potable observée en France entre 2004 et 2013 qui s'établit à - 1,6 % par an (SOeS, 2015).

	Tendances passées		Modèle Omphale de l'INSEE	
	Taux de croissance annuel moyen 2008-2013	Taux de croissance 2008-2013	Taux de croissance annuel moyen 2015-2040	Taux de croissance 2015-2040
Meurthe-et-Moselle	- 0.13 %	- 0.6 %	+ 0,12 %	+ 4 %
Moselle	- 0.04 %	- 0.2 %	+ 0,03 %	+ 1 %

Figure 91 : Croissance démographique entre 2015 et 2050 par département – Projections du modèle Omphale de l'INSEE.

Pour l'un des scénarios faisant apparaître un développement significatif de l'agriculture urbaine, les ratios de consommation par habitant des jardins collectifs ont été utilisés.

Enfin, la consommation des entreprises du secteur tertiaire est incluse dans les usages domestiques et assimilés dont l'évolution dépend de la croissance démographique ce qui se justifie par le fait que tous les scénarios présentent une corrélation entre la population et l'emploi.

Annexe 11 :

Scénarios de crise caractérisés par les membres du Groupe de Travail

a) *Méthode de construction des scénarios de crise*

Brainstorming à l'aide d'un métaplan

Après une rapide présentation des objectifs de l'atelier et des différents types de scénarios de crise à considérer, les participants ont été invités à inscrire leurs principales idées de scénarios sur des post-it. Un tour de table a ensuite été organisé lors duquel chaque participant a présenté à l'ensemble du groupe les scénarios qui lui paraissaient les plus importants à considérer dans le schéma. Au fur et à mesure que les idées étaient exposées, elles étaient débattues et enrichies par les membres du groupe. Les post-it ont progressivement été collectés et regroupés par grandes catégories de scénarios de façon à former un métaplan au centre de la salle.

Les participants ont été encouragés à prendre en compte les facteurs suivants :

- environnement du champ captant (industries, gravières, transport de matières dangereuses, pollutions diffuses, décharges, etc.) ;
- environnement des conduites d'adduction (risques de mouvements de terrain) ;
- âges des ouvrages ;
- présence de dispositifs anti-intrusion, de protection ou d'alerte ;
- type de traitement pratiqué par les stations de traitement concernées ;
- historique des crises sur le territoire ;
- vulnérabilité des canalisations ;
- réserves disponibles dans les réservoirs.

Caractérisation des scénarios en sous-groupe

Les participants ont ensuite été séparés en sous-groupes (un groupe par type de scénarios) auquel il a été demandé de (i) sélectionner dans les grandes orientations identifiées lors du tour de table, les scénarios les plus importants à traiter dans le modèle, et (ii) remplir pour cette sélection de scénarios une grille de caractérisation précisant divers critères (récit de la crise, localisation géographique, durée, criticité, impacts sur l'AEP, etc.). Un rapporteur a été désigné pour synthétiser les échanges au sein de chaque groupe.

Validation des scénarios en séance plénière

Pour finir, les participants ont de nouveau été réunis en séance plénière. Chaque rapporteur a alors présenté à l'ensemble des participants les scénarios construits par son groupe. Un temps d'échange a ensuite permis à chacun de régir à ces propositions. À l'issue de cet échange, un ordre de priorité a été donné aux scénarios de façon à identifier les trois scénarios de crise les plus pertinents à tester dans le modèle.

Quantification des scénarios de crise

La dernière étape a consisté à préciser les caractéristiques des trois scénarios ainsi sélectionnés en collectant notamment les informations nécessaires auprès des collectivités concernées.

Résultats du brainstorming

Les grandes orientations suivantes ont été mises en avant lors du premier tour de table :

- scénarios « Ruptures de canalisation » :
 - accidents de chantiers ;
 - rupture de la canalisation qui relie la boucle de Loisy au réservoir de la Falaise lors de son passage sous l'A31 ;
 - rupture du barrage de Madine ;
 - rupture de la conduite d'Arnaville ;
 - interruption de l'alimentation électrique d'une durée supérieure à 24 heures en cas de forte tempête (ex. 1999).
- scénarios « Actes de malveillance » :
 - intrusion dans une station de traitement et suspicion de pollution de l'eau ;
 - malveillance sur des puits très isolés (ex. SEA Bassin de Pompey) ;
 - contamination de la retenue de Madine par du glyphosate (roundup) ;
 - intrusion dans un réservoir de tête et déversements toxiques ;
 - cyberterrorisme et arrêt des pompages à distance.
- scénarios « Pollution de surface » :
 - pollutions accidentelles liées au transport de matières dangereuses sur l'A31, aux stations-service, au transport ferroviaire, aux fuites de citernes ou à la défaillance de stations d'épuration ;
 - pollutions diffuses d'origine agricole (ex. déclassement de la ressource du Rupt de Mad du fait des nitrates) ;
 - incendie industriel majeur ;
 - rupture de l'oléoduc de l'OTAN et pollution majeure aux hydrocarbures dans la vallée du Rupt de Mad ;
 - développement massif de cyanobactéries dans les eaux peu renouvelées (ex : Vieux-Pré), en lien avec le changement climatique.
- scénarios « Inondations » :
 - rupture qualitative ou quantitative de la ressource au niveau des champs captants (turbidité, accès aux puits) ;
 - rupture qualitative ou quantitative de la ressource au niveau de stations de traitement.

Les résultats obtenus suite au travail en sous-groupes sont présentés ci-dessous. Seize scénarios ont été construits, caractérisés et classés par ordre de priorité.

Quatre scénarios notés comme prioritaires par le Groupe de Travail ont été plus finement caractérisés. Deux de ces scénarios ont finalement été retenus par le Comité de Pilotage de l'étude pour être simulés avec le modèle, de par l'ampleur de leurs impacts attendus sur le périmètre d'étude, et sont présentés dans la section 0. Les deux scénarios non retenus sont consultables ci-dessous.

b) Scénarios de crise caractérisés par les membres du Groupe de Travail

Cf. Tableaux ci-dessous.

	Descriptif du scénario	UGE concernées	Localisation	Durée	Criticité (indisponibilité)	Volume non desservi	Priorité	Commentaires du groupe de travail
SCÉNARIO « RUPTURE DE CANALISATION »								
Scénario 1	<p>Rupture de la conduite d'adduction entre le Rupt de Mad et la TTP de Moulins qui permet le transport de 10 766 240 m³/an (30 000 m³/jour) à partir du barrage d'Arnaville.</p> <p>En cas de rupture (par exemple, suite à un mouvement de terrain au niveau de la commune de Corny-sur-Moselle), il faudrait utiliser une canalisation d'un diamètre inférieur en secours (400 mm au lieu de 900 mm actuellement) car c'est le seul diamètre disponible localement et effectuer des prélèvements dans la Moselle via le canal de Jouy (sous réserve d'une autorisation du préfet).</p>	Metz	Corny sur Moselle	1 semaine d'interruption totale (la route départementale étant également coupée, les délais d'intervention seraient augmentés) puis 2 mois avec une canalisation de secours de 400 mm.	<p>1 semaine : 100 %</p> <p>2 mois : Débit réduit transitant dans la canalisation de 400 mm</p>	<p>50 000 m³ à l'étiage et 30 000 m³ en période normale</p> <p>Déficit en période normale de 7400 m³/j</p>	1	Débit réduit pendant la phase de transition - Demande insatisfaite à l'étiage
Scénario 2	<p>Rupture du barrage de Madine.</p> <p>Le barrage de Madine ne permet plus d'assurer sa fonction de soutien d'étiage en période de forte demande en eau. La TTP de Moulins n'est plus alimentée en période d'étiage.</p>	Metz	Madine	<p>Durée nécessaire à la reconstruction du barrage (au moins un an)</p> <p>Durée nécessaire au remplissage du barrage</p>	100 %	<p>50 000 m³ à l'étiage</p> <p>Déficit en période normale de 27400 m³/j</p>	2	<p>Vague de 10 mètres dans la vallée (Cf. scénarios « inondations »).</p> <p>Arrêt de l'approvisionnement sur une longue durée.</p>
Scénario 2 bis	Vidange administrative du barrage de Madine (pour maintenance) sur demande des services de l'État			<p>Durée de maintenance et d'inspection</p> <p>Durée nécessaire au</p>				<p>Arrêt de l'approvisionnement sur une longue durée.</p>

Schéma exploratoire pour l'alimentation en eau potable des vallées de la Moselle et de la Meurthe

				remplissage du barrage				
Scénario 3	Rupture de la canalisation de 400 mm qui relie les 4 ouvrages de prélèvement de la boucle de Loisy et le réservoir La Falaise.	SIE de Seille et Moselle et SIEA du Bassin de Pompey	Passage de la canalisation sous l'autoroute	1 semaine d'interruption totale	100 %	8 500 m ³ /jour	3	L'impact sera le plus important pour le SIEA du Bassin de Pompey qui ne possède pas de ressource de sécurisation.
Scénario 4	Rupture de l'alimentation électrique suite à l'occurrence d'une forte tempête.	Toutes	Tous	24 heures pour les ouvrages ne possédant pas de groupe électrogène	100 %	selon les UGE concernées	4	

	Descriptif du scénario	UGE concernées	Localisation	Durée	Criticité (indisponibilité)	Volume non desservi	Priorité	Commentaires du groupe de travail
SCÉNARIO « ACTE DE MALVEILLANCE »								
Scénario 1	Intrusion d'une TTP (par exemple la TTP de Moulins) avec accès à l'eau et déversement volontaire de substances polluantes	Toutes (par exemple Metz)	Tous (par exemple TTP Moulins)	Entre 3 et 10 jours, selon le type de pollution	80 %	TTP Moulins : Entre 95 000 et 315 000 m ³ selon la durée de l'interruption	1	A Metz, la distribution d'eau embouteillée serait difficile car la population est importante.
Scénario 2	Cyber-terrorisme. Arrêt des pompages à distance.	Toutes les UGE équipées de systèmes de télégestion	Tous	Entre 1 et 5 jours selon le type de virus installé	100 %		3	L'exploitant peut être rendu aveugle à l'intrusion
Scénario 3	Injection d'un polluant sur le réseau d'eau, par exemple via un poteau incendie.	Toutes	Tous	10 jours	100 %		2	Ce scénario concerne spécifiquement le réseau de distribution, or le projet ne porte que sur les réseaux d'adduction et les ouvrages principaux. Il ne pourra donc pas être traité dans le projet. Son équivalent sur le réseau d'adduction est traité via le scénario « Acte de Malveillance » n°1.

	Descriptif du scénario	UGE concernées	Localisation	Durée	Criticité (indisponibilité)	Volume non desservi	Priorité	Commentaires du groupe de travail
SCÉNARIO « INONDATIONS »								
Scénario 2	Lessivage au niveau d'une industrie submergée	Toutes	À définir. Par exemple : station de service de Loisy	Variable selon le polluant	100 % max	Selon les UGE concernées	1	Hydrocarbures ou produits chimiques selon l'industrie concernée. Les 4 puits de la boucle de Loisy sont concernés par une pollution potentielle générée par une inondation des aires autoroutières situées dans le périmètre de protection des puits.
Scénario 4	Lessivage des sols et relargage de phytosanitaires provoquant des dépassements des seuils-limites de concentration	Metz, Yutz	Rupt de Mad, Yutz	Temporaire le temps du lessivage	Partielle à totale		1	Scénario à replacer dans un cadre plus large d'usage des sols et de pollutions diffuses d'origine agricole (Cf. Scénario « Pollutions de surface » n°4)
Scénario 1	Submersion du lit majeur de la Moselle affectant les puits en nappe alluviale	Toutes	Tous (Loisy, Moulins-Lès-Metz, ...)	Variable selon la durée de la crue : court pour une crue classique, mais plusieurs jours pour une crue centennale	Potentiellement indisponibilité à 100 % si pas de sécurisation	Selon les UGE concernées	2	Turbidité importante Problème d'accès au puits
Scénario 3	Remise en suspension de sédiments anciens pollués dans la nappe alluviale lors d'une crue très importante	Loisy, Metz, Montigny-lès-Metz	Captages de Loisy, Metz, Montigny-lès-Metz	Longue durée			3	Pollution liée aux activités de sidérurgie passées, PCB...
Scénario 1 bis	Submersion du lit majeur de la Moselle affectant les stations de traitement	Metz	Moulins-Lès-Metz		Potentiellement indisponibilité à 100 % si pas de sécurisation	40 000 m ³ /jour	4	

	Descriptif du scénario	UGE concernées	Localisation	Durée	Criticité (indisponibilité)	Volume non desservi	Priorité	Commentaires du groupe de travail
SCÉNARIO « POLLUTION DE SURFACE »								
Scénario 1	Pollutions diffuses d'origine agricole	Metz, Yutz	Rupt de Mad ou Yutz	Longue durée	Partielle à totale	Jusqu'à 30 000 m ³ /jour (50 000 en étiage) pour le Rupt de Mad	1	
Scénario 2	Pollution du Rupt de Mad par des hydrocarbures suite à une rupture de l'oléoduc de l'OTAN	Metz	Fey-en-Haye	Quelques jours	60 % (de la ressource de l'UGE)	30 000 m ³ /jour (50 000 en étiage)	1	Probabilité moyenne Gravité moyenne Secours possible par le canal de Jouy (sur autorisation de l'ARS, délivrée dans la journée)
Scénario 3	Pollution suite à un accident routier (A31, ...)	Toutes	Proche des axes routiers	Durée très variable, selon les polluants	Avec impacts en chaîne	Selon les UGE concernées	2	Probabilité élevée Gravité limitée (NB: le scénario touche aussi les services secourus par les UGE de la Moselle)
Scénario 4	Incendie industriel majeur	Nancy	Papèteries de la Moselle	Quelques jours, ou quelques années si les polluants ne sont pas solubles	élevée si > 20 jours	50 000 m ³ /jour	3	Probabilité faible Gravité moyenne
Scénario 4 bis		Metz	Via Rupt de Mad		élevée si > 1 jours	30 000 m ³ /jour	3	Probabilité faible Gravité majeure si long à traiter

c) Scénarios de crise non retenus pour la simulation

Scénario de pollution de surface dans le secteur de Yutz

Ce scénario consiste en une pollution diffuse d'origine agricole (nitrates) dans le secteur de Yutz. On constate depuis plusieurs années une augmentation de la teneur en nitrates sur les puits et sur l'eau distribuée. Face à cette évolution, les puits de la ville de Yutz ont été inscrits sur la liste des captages prioritaires et une démarche « Aire d'Alimentation de Captage » a été initiée. La reconquête de la qualité de l'eau est une démarche de long terme, notamment de par la forte inertie du système (temps de résidence et de transfert des nitrates). L'évaluation de l'efficacité d'éventuelles actions mises en place sur les concentrations en nitrate dans le futur nécessite une modélisation fine du système hydrologique et des usages des sols.

Le scénario retenu ici correspond à un scénario de « laisser-faire », c'est-à-dire de prolongation des tendances d'évolution des concentrations (+ 1,54 mg/l/an). On considère ainsi une concentration en nitrates de 99 mg/l en 2050, sur les 4 puits de Yutz. Ces puits constituent la seule ressource propre de Yutz, qui complète son approvisionnement par des imports auprès du syndicat mixte de production d'eau Fensch-Lorraine (pour environ 28 % de son approvisionnement en 2015). Cette forte concentration en nitrates nécessiterait une augmentation des imports d'eau depuis le syndicat Fensch-Lorraine, afin que la concentration en nitrates dans le mélange à la station de Yutz reste en dessous du seuil de 50 mg/l.

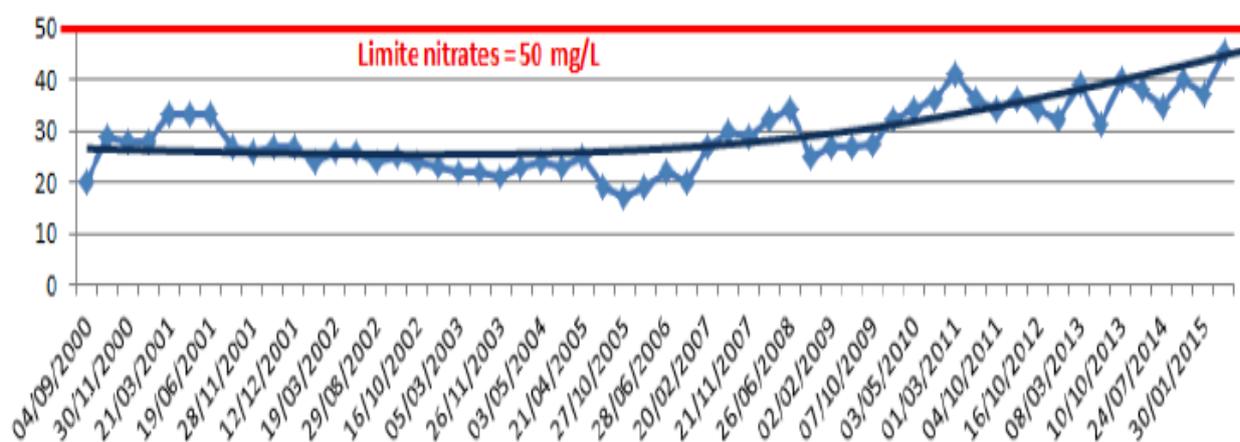


Figure 92 : Évolution de la teneur en nitrates dans l'eau mélangée à la station de Yutz.
Source : RAD 2015 de la ville de Yutz

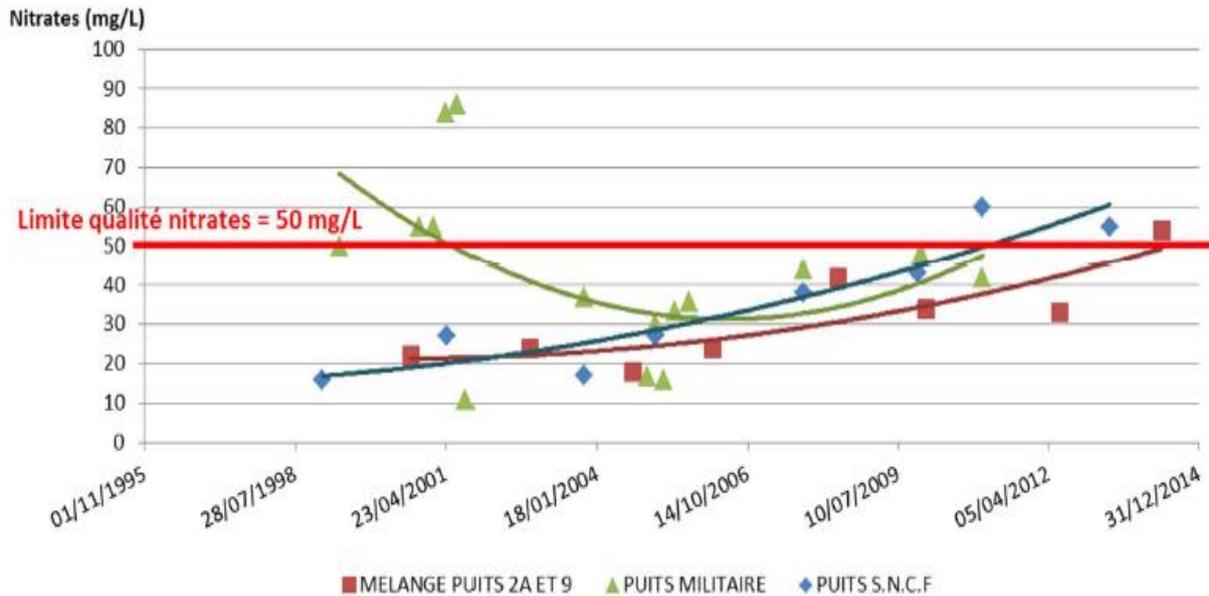


Figure 93 : Évolution de la teneur en nitrates dans les ressources en eau de Yutz.
Source : RAD 2015 de la ville de Yutz

Étant donné la relative faible ampleur géographique de ce scénario par rapport au scénario de pollution aux nitrates sur le Rupt de Mad, c'est ce dernier qui a été privilégié par le comité de pilotage pour être simulé avec le modèle du schéma AEP.

Scénario inondation dans le secteur de la boucle de Loisy

Ce scénario consiste en une pollution aux hydrocarbures suite à une inondation qui affecterait le secteur de la Boucle de Loisy. Cette inondation générerait une pollution accidentelle des puits de la boucle de Loisy par le déversement d'hydrocarbures au niveau de la station-service TOTAL de l'autoroute A31 située dans le périmètre de protection des captages (Figure 94). Les quatre puits de la boucle de Loisy seraient alors mis à l'arrêt pendant 12 heures.

Deux événements relativement similaires ont eu lieu en 1982 et 1995. Il s'agissait alors de déversements accidentels d'hydrocarbures lors du dépotage de camions citernes (Base de données BASOL). Ces accidents avaient engendré la mise à l'arrêt des puits.

Les puits de la boucle de Loisy sont par ailleurs soumis à l'aléa inondation. En 2007, une crue de la Moselle a engendré un arrêt de la production sur ces quatre puits qui a résulté en une interruption de l'alimentation en eau potable des communes de l'ouest du Syndicat de Seille et Moselle. De nouveau, en janvier 2011, la durée de pompage a été augmentée sur les puits P1 et P2, du fait de l'inondation des puits P4 et P5 (Egis Eau, 2012). L'inondation des sites de production constitue donc un danger avéré pour l'AEP sur ce secteur.

Un tel scénario est envisagé dans l'étude de sécurisation menée pour le compte des trois syndicats de Seille et Moselle, d'Atton et d'Obrion-Moselle (Egis Eau, 2012). La durée de l'interruption y est également de 12 heures, pour une occurrence estimée une fois tous les 6 ans.

Étant donné la faible durée envisagée de l'interruption, il n'est pas vraiment pertinent de simuler ce scénario dans le cadre du modèle du schéma AEP, qui ne représente pas les réservoirs. C'est pourquoi ce scénario n'a pas été retenu par le comité de pilotage pour être simulé dans le cadre de la présente étude.

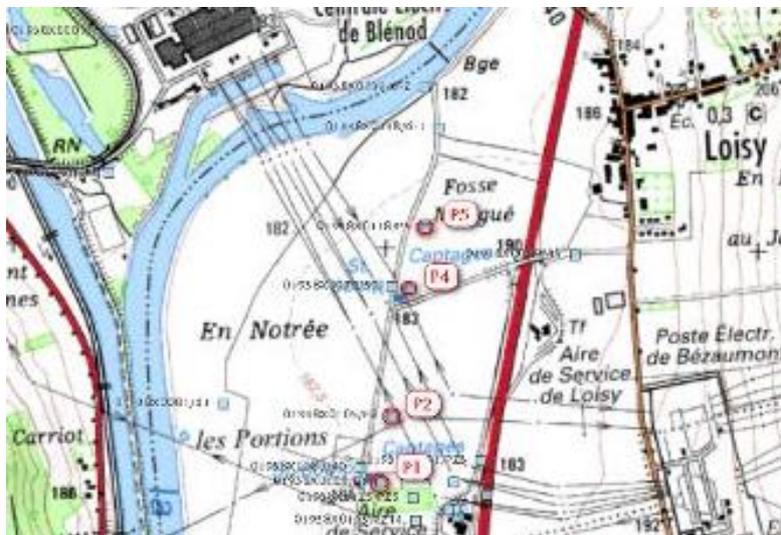


Figure 94. Localisation géographique des quatre puits de la boucle de Loisy et de l'aire de service de Loisy située sur l'autoroute A31

Encadré 6 : La boucle de Loisy

Les syndicats des eaux de Seille et Moselle et Obron-Moselle exploitent en commun un site de prélèvement et de production qui prélève dans les alluvions de la Moselle à partir de quatre puits (P1, P2, P4 et P5) situés sur la commune de Loisy. L'eau prélevée est mise en commun au niveau du réservoir de la Falaise qui appartient au SIE de Seille et Moselle et à partir duquel l'eau est ensuite distribuée par les deux services d'eau. L'eau prélevée par l'ensemble des quatre puits de Loisy est traitée par une seule et même station de traitement (Chloration Boucle de Loisy).

En 2015, le volume prélevé par les puits de la boucle de Loisy s'élève à 442 680 m³/an pour une autorisation de prélèvement de 600 000 m³/an.

Il convient de noter que depuis le 1er janvier 2017, les puits P4 et P5 sont exploités par le SEA du Bassin de Pompey et de l'Obron-Moselle. Ce nouveau syndicat est issu de la fusion du SEA du Bassin de Pompey et du Syndicat des eaux de l'Obron-Moselle.

Sources : Egis Eau (2012), RAD et RPQS des syndicats concernés

Annexe 12 :

Évaluation de la vulnérabilité du schéma AEP à horizon 2050 – Scénarios complémentaires

a) Cas du Scénario hydrologique le plus favorable, en conditions normales :

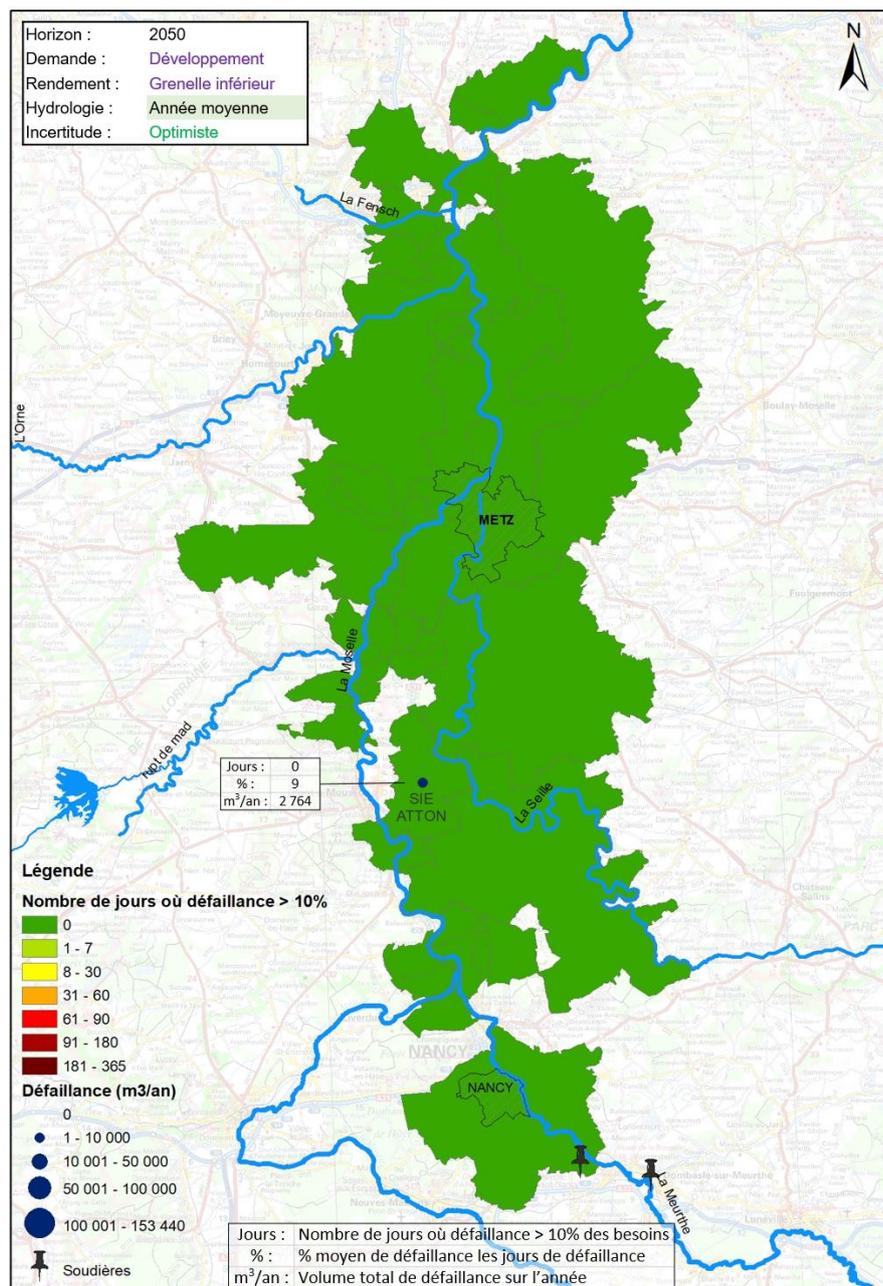


Figure 95 : Situations de défaillance de l'AEP à horizon 2050 dans le scénario le plus favorable en termes de concentrations en chlorures

b) Impact des scénarios de diminution des besoins en eau, dans le cas de la crise « Rupture de canalisation entre le Rupt de Mad et Moulins », dans les conditions climatiques les plus défavorables

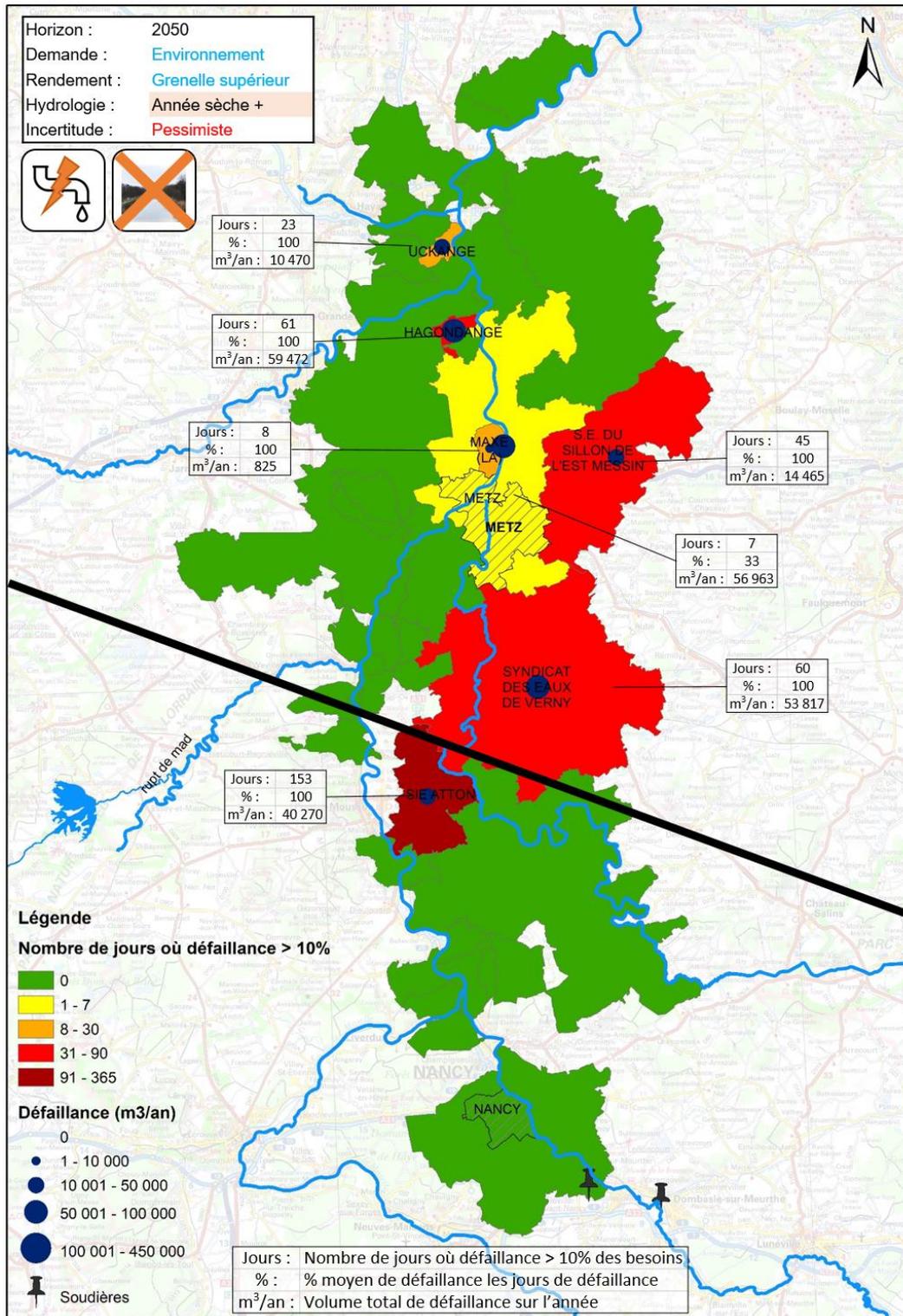


Figure 96 : Situations de défaillance de l'AEP à horizon 2050 dans le scénario le plus favorable en termes de concentrations en chlorures

Annexe 13 :

Sollicitation des infrastructures de production d'eau potable en été à horizon 2050 (scénario « standard »)

Stations de traitement (TTP) :				Alimentées par (ouvrages de prélèvement ou stations de traitement) :				
Nom	UGE	Capacité (m³/j)	Taux de sollicitation moyen en été (%)	Type	Nom	Capacité en étiage (m³/j)	Taux de sollicitation moyen en été (%)	Nombre de jours où [Cl]>200 m/l
EDOUARD IMBEAUX	COMMUNAUTE URBAINE DU GRAND NANCY	130 000	38	OUV	Prise d'eau en Moselle de Messein	62 000	80	0
				OUV	Prise d'eau pour l'alimentation de la réserve CUGN Richardménil	1	100	0
				OUV	Nouvelle prise d'eau sur la Meurthe en amont des soudières	100 000	0	0
STATION MOULINS	METZ	45 000	96	OUV	Champs captant Metz Sud	2 880	100	248
				OUV	SOURCES GORZE	1 000	100	0
				OUV	Rupt de Mad	60 000	66	0
STATION HAUCONCOURT	METZ	8 000	56	OUV	Puits de Hauconcourt - Champ captant Metz Nord	4 500	100	0
STATION SAINT ELOY	METZ	7 500	67	OUV	station Saint Eloy puits Nord	5 040	100	0
STATION ROSSELANGE	SIEGVO	637	86	OUV	Source de Bouswald	550	100	0
STATION CHLORATION DORNOT	SIEGVO	180	44	OUV	Forage communal	80	100	0
STATION DE TRAITEMENT N BROUCK	SIEGVO	1 605	69	OUV	Puits 1 Ancienne Brouck	79	100	0
				OUV	Puits 1 Nouvelle Brouck	79	100	0
				OUV	Puits 2 Ancienne Brouck	79	100	0
				OUV	Puits 2 Nouvelle Brouck	79	100	0
				OUV	Puits 3 Ancienne Brouck	79	100	0
				OUV	Puits 3 Nouvelle Brouck	79	100	0
				OUV	Puits 4 Ancienne Brouck	79	100	0
				OUV	Puits 4 Nouvelle Brouck	79	100	0
				OUV	Puits 5 Ancienne Brouck	79	100	0
				OUV	Puits 5 Nouvelle Brouck	79	100	0
				OUV	Puits 6 Ancienne Brouck	79	100	0
				OUV	Puits 6 Nouvelle Brouck	79	100	0
				OUV	Puits 7 Ancienne Brouck	79	100	0
OUV	Puits 8 Ancienne Brouck	79	100	0				

Schéma exploratoire pour l'alimentation en eau potable des vallées de la Moselle et de la Meurthe

Stations de traitement (TTP) :				Alimentées par (ouvrages de prélèvement ou stations de traitement) :				
Nom	UGE	Capacité (m³/j)	Taux de sollicitation moyen en été (%)	Type	Nom	Capacité en étiage (m³/j)	Taux de sollicitation moyen en été (%)	Nombre de jours où [Cl]>200 m/l
STATION DE POMPAGE MANCE	SIEGVO	9 500	17	OUV	Forage de la Mance ou Forage Amont	1 100	100	0
				OUV	Puits de la Mance ou collecteur	500	100	0
				TTP	STATION MOULINS	-	-	-
STATION DE TRAITEMENT RONCOURT	SIEGVO	20 000	72	OUV	Exhaure Mine d' Auboué	1 600	0	0
				OUV	Exhaure Mine de Valleroy 2	22 000	54	0
				OUV	Forage Valleroy Moineville	4 000	65	0
				TTP	STATION DE POMPAGE MANCE	-	-	-
STATION RONGUEVILLE	SIEGVO	90	100	OUV	Source Joyeuse 1	30	100	0
				OUV	Source Joyeuse 2	30	100	0
				OUV	Source Joyeuse 3	30	100	0
STATION LE CHENE	SIEGVO	177	100	OUV	Source Bergivaux 2	25	99	0
				OUV	Source Bergivaux 1	25	100	0
				OUV	Source Magnivaux	50	84	0
				OUV	Source Marquart	50	85	0
				OUV	Source Plorée	50	86	0
STATION PUIITS ANCY	SIEGVO	50	100	OUV	Puits (en secours)	180	28	0
STATION DE DECARBONATATION	FENSCH-LORRAINE S.M.P.E	24 000	96	OUV	Exhaure Errouville (54)	99 999	0	0
				OUV	Exhaure Sérrouville (54)	14 400	100	0
				OUV	Forage route Blanche	99 999	9	0
				OUV	Puits François	15 000	0	0
STATION MAISON ROUGE	MONTIGNY-LES-METZ	10 800	48	OUV	captage Maison Rouge : puits 11	1 250	98	0
				OUV	captage Maison Rouge : puits 12	1 250	0	0
				OUV	captage Maison Rouge : puits 14	1 250	0	0
				OUV	captage Maison Rouge : puits 15	1 250	0	0
				OUV	captage Maison Rouge : puits 21	1 250	0	0
				OUV	captage Maison Rouge : puits 22	1 250	0	0
				OUV	captage Maison Rouge : puits 23	1 250	0	0

Stations de traitement (TTP) :				Alimentées par (ouvrages de prélèvement ou stations de traitement) :				
Nom	UGE	Capacité (m³/j)	Taux de sollicitation moyen en été (%)	Type	Nom	Capacité en étiage (m³/j)	Taux de sollicitation moyen en été (%)	Nombre de jours où [Cl]>200 m/l
				OUV	captage Maison Rouge : puits 25	1 250	46	0
				OUV	captage Maison Rouge : puits 26	1 250	97	0
				OUV	captage Maison Rouge : puits 27	1 250	100	0
				OUV	captage Maison Rouge : puits 31	1 250	72	66
				OUV	captage Maison Rouge : puits 32	1 250	0	66
				OUV	Rupt de Mad	60 000	66	0
STATION MONTVAUX	MONTIGNY-LES-METZ	8 800	42	OUV	Source de la Roche	1	100	0
				OUV	Source du Grand Chêne	3 700	100	0
STATION CHLORATION RANNEY I	FLORANGE S.I.E	4 076	32	OUV	Puits Ranney 1	1 286	100	0
				TTP	STATION MOULINS	-	-	-
				TTP	STATION CHLORATION RANNEY 3	-	-	-
STATION CHLORATION RANNEY 3	FLORANGE S.I.E	783	18	OUV	Puits Ranney 3	143	100	0
MELANGE UDI 1 ET FENSCH	FLORANGE S.I.E	2 081	0	TTP	STATION DE DECARBONATATION	-	-	-
				TTP	STATION CHLORATION RANNEY I	-	-	-
MELANGE PUIITS BH TRANCHEE KOENIGSMACKER	EST-THIONVILLOIS S.I.E	830	100	OUV	Forage Basse-Ham 1	700	76	0
				OUV	Forage Basse-Ham 2	300	100	0
				TTP	STATION KOENIGSMACKER	-	-	-
STATION KOENIGSMACKER	EST-THIONVILLOIS S.I.E	602	84	OUV	Tranchée drainante de Koenigsmacker	900	56	0
STATION LA LOBE 2	VERNY S.I.E	1 380	0	OUV	Puits de la Lobe (ligne de 6 puits)	1 110	0	291
STATION DECARBONATATION YUTZ	YUTZ	3 000	63	OUV	Puits 2a	528	100	0
				OUV	Puits 9	480	100	0
				OUV	Puits SNCF	530	100	0
				OUV	Puits militaire	360	100	0
				TTP	STATION DE DECARBONATATION	-	-	-
STATION KUNSOL	FAMECK	3 100	65	OUV	Puits Kunsol	3 100	65	0
				TTP	STATION DE DECARBONATATION	-	-	-

Schéma exploratoire pour l'alimentation en eau potable des vallées de la Moselle et de la Meurthe

Stations de traitement (TTP) :				Alimentées par (ouvrages de prélèvement ou stations de traitement) :				
Nom	UGE	Capacité (m³/j)	Taux de sollicitation moyen en été (%)	Type	Nom	Capacité en étiage (m³/j)	Taux de sollicitation moyen en été (%)	Nombre de jours où [Cl]>200 m/l
STATION ELEVATOIRE	GUENANGE S.I.E	1 569	100	OUV	Puits de Bertrange 1	144	100	0
				OUV	Puits de Bertrange 10	144	100	0
				OUV	Puits de Bertrange 11	144	100	0
				OUV	Puits de Bertrange 12	144	100	0
				OUV	Puits de Bertrange 2	144	100	0
				OUV	Puits de Bertrange 3	144	100	0
				OUV	Puits de Bertrange 4	144	100	0
				OUV	Puits de Bertrange 5	144	1	0
				OUV	Puits de Bertrange 6	144	89	0
				OUV	Puits de Bertrange 7	144	100	0
				OUV	Puits de Bertrange 8	144	100	0
				OUV	Puits de Bertrange 9	144	100	0
				TTP	STATION MOULINS	-	-	-
DESINFECTION DE BELLEAU	SIE DE SEILLE ET MOSELLE (54)	130	100	OUV	Source de Belleau	160	81	0
DESINFECTION DE MOREY	SIE DE SEILLE ET MOSELLE (54)	58	100	OUV	Sources de Morey	100	58	0
DESINFECTION DE MOULINS	SIE DE SEILLE ET MOSELLE (54)	2 200	77	OUV	Sources de Moulins du SY Seille et Moselle	1 700	100	0
CHLORATION BOUCLE DE LOISY(SM)	SIE DE SEILLE ET MOSELLE (54)	860	48	OUV	Puits P1	1 400	9	22
				OUV	Puits P2	1 400	21	36
STATION ROUTE DE METZ	Syndicat d'Eau et d' Assainissement du Bassin de POMPEY / FROUARD	1 700	88	OUV	Captage Source Bellefontaine	1 500	100	0
STATION HARDILLON - Route de Liverdun	Syndicat d'Eau et d' Assainissement du Bassin de POMPEY / FROUARD	602	44	OUV	Captage puits Ranney - la Duchesse	402	19	0
				OUV	Captage source Hardillon	200	95	0

Stations de traitement (TTP) :				Alimentées par (ouvrages de prélèvement ou stations de traitement) :				
Nom	UGE	Capacité (m³/j)	Taux de sollicitation moyen en été (%)	Type	Nom	Capacité en étiage (m³/j)	Taux de sollicitation moyen en été (%)	Nombre de jours où [Cl]>200 m/l
DESINFECTION DITE DE PRENY	PAGNY SUR MOSELLE	401	0	OUV	Captage n°1 Preny de Pagny-sur-Moselle	350	0	0
				OUV	Captage n°2 Preny de Pagny-sur-Moselle	350	0	0
				OUV	Captage n°3 Preny de Pagny-sur-Moselle	350	0	0
				OUV	Captage n°4 Preny de Pagny-sur-Moselle	350	0	0
DESINFECTION DE PAGNY	PAGNY SUR MOSELLE	801	89	OUV	Puits n°2 du stade	1 536	0	291
				OUV	Source A de Beaume Haie	200	71	0
				OUV	Source B de Beaume Haie	200	78	0
				OUV	Source D de Beaume Haie	200	74	0
				OUV	Source E de Beaume Haie	200	68	0
				OUV	Source F de Beaume Haie	200	65	0
				TTP	DESINFECTION DITE DE PRENY	-	-	-
DESINFECTION DE FRANCHE LIMONT	CUSTINES	300	40	OUV	Chambre inférieur C - Franche Limont	40	100	0
				OUV	Chambre moyen B - sources de Franche Limont	40	98	0
				OUV	Chambre supérieur A - sources de Franche Limont	40	99	0
DESINFECTION DE RECHANOIS	CUSTINES	410	95	OUV	Sources de Sainte Goule	120	100	0
				OUV	Sources du bois du four	130	96	0
				OUV	Sources du bois notaire	150	97	0
DESINFECTION DU SIE D'ATTON	SIE D'ATTON	474	14	OUV	Puits N° 2 (nouveau) du SY Atton	800	8	235
STATION PUIITS PAQUIS	CORNYSUR-MOSELLE	840	48	OUV	Puits Paquis 1	274	100	0
				OUV	Puits Paquis 2	274	48	0
STATION JOUY-AUX-ARCHES	JOUY-AUX-ARCHES	447	48	OUV	nouveau puits Les Avioux	216	100	0
				TTP	STATION MAISON ROUGE	-	-	-
		369	87	OUV	Puits du Stade	2 400	0	0

Schéma exploratoire pour l'alimentation en eau potable des vallées de la Moselle et de la Meurthe

Stations de traitement (TTP) :				Alimentées par (ouvrages de prélèvement ou stations de traitement) :				
Nom	UGE	Capacité (m³/j)	Taux de sollicitation moyen en été (%)	Type	Nom	Capacité en étiage (m³/j)	Taux de sollicitation moyen en été (%)	Nombre de jours où [Cl]>200 m/l
STATION CHLORATION NOVEANT	NOVEANT-SUR-MOSELLE			OUV	Source Abreuvoirs	172	90	0
				OUV	Source Malpierre	271	21	0
				OUV	Source des Trois Fontaines	110	64	0
				OUV	Source du Rudemont	63	64	0
STATION CHLORATION	ROZERIEULLES	390	63	OUV	Source des taupes ou n°1 ou cote de Bieuvre	390	63	0
STATION DE LA CHEVREUSE	MARBACHE	285	92	OUV	Captage de la mine de chevreuse	180	87	0
				OUV	Captage source de la fontaine à vie	115	91	0
DESINFECTION SAINT-ETIENNE	FAULX	83	100	OUV	Captage de la fontaine bénite	30	91	0
				OUV	Captage n°1 de St Etienne (de la Coulevre)	30	93	0
				OUV	Captage n°2 de St Etienne (de la Coulevre)	30	93	0
DESINFECTION DE SAINT-PIERRE	FAULX	157	80	OUV	Captage de la source de Mercquenard	62	100	0
				OUV	Captage de la source des sangliers	62	100	0
DESINFECTION DE MALLELOY	MALLELOY	376	36	OUV	Source de la Crochatte S2	60	60	0
				OUV	Source de la Crochatte S3	89	31	0
				OUV	Source de la Goulotte	230	30	0
TRAITEMENT DE VANDIERES	VANDIERES	365	42	OUV	Puits alluvial de Vandières - route de Pagny	240	18	291
				OUV	Source de Norroy	55	100	0
				OUV	Source de la grande Mairesse	55	100	0
STATION DU CHATEAU	ARRY	150	61	OUV	Source de l'Eglise (ou du Château)	130	70	0
STATION DES HANNAUX	ARRY	150	16	OUV	Source des Hannaux	110	22	0
DESINFECTION MILLERY	MILLERY	89	100	OUV	Source de Farifontaine	89	100	0
DESINFECTION DE LOISY	LOISY	95	84	OUV	Source S1 du Grand Sart	15	100	0
				OUV	Source S2 du Grand Sart	15	100	0

Stations de traitement (TTP) :				Alimentées par (ouvrages de prélèvement ou stations de traitement) :				
Nom	UGE	Capacité (m³/j)	Taux de sollicitation moyen en été (%)	Type	Nom	Capacité en étiage (m³/j)	Taux de sollicitation moyen en été (%)	Nombre de jours où [Cl]>200 m/l
				OUV	Source S3 du Grand Sart	20	100	0
				OUV	Source S4 du Grand Sart	15	100	0
				OUV	Source S6 du Grand Sart	15	100	0
				TTP	CHLORATION BOUCLE DE LOISY(SM)	-	-	-
CHLORATION BOUCLE DE LOISY(OM)	SIE DE L'OBRION MOSELLE	815	53	OUV	Puits n°4 de la Boucle de Loisy	1 400	16	60
				OUV	Puits n°5 de la Boucle de Loisy	1 420	15	158
STATION DE CHLORATION	CATTENOM S.I.E	1 455	82	OUV	Puits n° 1	1 200	35	0
				OUV	Puits n° 2 bis	260	100	0
				OUV	Puits n° 3	260	100	0
				OUV	Puits n° 5	260	100	0
SAULE SERVICE HAUT et SAULE SERVICE BAS	BLENOD LES PONT A MOUSSON	2560 (981 et 1579)	30	OUV	Puits n°1 de Blénod-les-PAM	240	100	0
				OUV	Puits n°2 de Blénod-les-PAM	240	100	0
				OUV	Puits n°7 de Blénod-les-PAM	240	98	0
				OUV	Puits n°9 de Blénod-les-PAM	223	23	0
STATION BRIQUERIE	THIONVILLE	12 500	54	OUV	Exhaure ENTRANGE	5 400	100	0
				OUV	Puits CES	122	100	0
				OUV	Puits Manom côté station	500	100	0
				OUV	puits briquerie 1	122	100	0
				OUV	puits briquerie 2	122	100	0
				OUV	puits briquerie 3	122	100	0
				OUV	puits briquerie 4	122	100	0
				OUV	puits briquerie 5	122	100	0
				OUV	puits briquerie 6	122	100	0
				OUV	puits gymnase	122	100	0
				OUV	puits piscine	122	100	0
				OUV	puits stade	122	100	0
STATION BEAUREGARD	THIONVILLE	1 542	0	TTP	STATION MOULINS	-	-	-

Stations de traitement (TTP) :				Alimentées par (ouvrages de prélèvement ou stations de traitement) :				
Nom	UGE	Capacité (m³/j)	Taux de sollicitation moyen en été (%)	Type	Nom	Capacité en étiage (m³/j)	Taux de sollicitation moyen en été (%)	Nombre de jours où [Cl] > 200 m/l
				TTP	STATION DE DECARBONATATION	-	-	-
RANGUEVAUX-MORLANGE	THIONVILLE	1 479	47	OUV	Source de Morlange	85	100	0
				OUV	Source de Morlange 1	85	100	0
				OUV	Source de Ranguieux 1	335	100	0
				OUV	Source de Ranguieux 2	185	100	0
TRAITEMENT DES VANNES - POMPEY	POMPEY	2 400	37	OUV	Captage de Pompey - puits Ranney	3 300	27	0

Tableau 19 : Taux de sollicitation des capacités des infrastructures de production d'eau potable en été à horizon 2050 (scénario « standard »)



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 – Site de dNancy
1, avenue du Parc de Brabois
54500 – Vandœuvre-lès-Nancy – France
Tél. : 03 83 44 81 49