



Plan d'approche pour la gestion des étiages exceptionnels dans le bassin versant de la Meuse

Décembre 2020

Table des matières

| | | |
|--------|--|----|
| 1. | Introduction..... | 10 |
| 2. | Cadre juridique..... | 11 |
| 2.1 | La Directive Cadre sur l’Eau et ses documents guides | 11 |
| 2.1.1. | Etiage et bon état des masses d’eau de surface | 11 |
| 2.1.2. | Programmes de mesures de la DCE et actions de gestion quantitative | 12 |
| 2.2 | Corpus réglementaires nationaux..... | 15 |
| 2.2.1. | En France..... | 15 |
| 2.2.2. | En Wallonie..... | 16 |
| 2.2.3. | En Flandre..... | 16 |
| 2.2.4. | Aux Pays-Bas..... | 17 |
| 2.2.5. | En Allemagne..... | 17 |
| 2.2.6. | Au Luxembourg | 18 |
| 2.3 | Synthèse | 18 |
| 3. | Travaux antérieurs..... | 20 |
| 4. | Hydrologie de la Meuse..... | 21 |
| 5. | Naturalisation des débits | 29 |
| 5.1 | Résultats à la station de Chooz | 29 |
| 5.2 | Résultats à la station de Liège | 37 |
| 5.3 | Résultats à la station de Lith-Megen..... | 41 |
| 5.3.1. | Ramifications de la Meuse | 41 |
| 5.3.2. | Les prélèvements et les rejets au sein des Pays-Bas..... | 42 |
| 5.4 | Synthèse | 44 |
| 6. | Surveillance de l’étiage au sein de la CIM | 45 |
| 6.1 | Dispositif (stations, paramètre, fréquence de suivi et classification de la situation) | 45 |
| 6.2 | Résultats disponibles aux principales stations de suivi..... | 46 |
| 6.3 | Synthèse | 54 |
| 7. | Impact des étiages sur l’état des masses d’eau de surface aux frontières..... | 56 |
| 8. | Impact des étiages sur les différents usages des eaux de surface..... | 60 |
| 9. | Réduction des effets négatifs des étiages sur l’état des masses d’eau de surface..... | 62 |
| 9.1 | Les mesures (actions) prévues dans le cadre des plans de gestion et du programme de mesures de la Directive Cadre sur l’Eau..... | 62 |
| 9.1.1 | Coordination des actions de gestion quantitative des programmes de mesure nationaux..... | 63 |

| | | |
|--------|--|----|
| 9.1.2 | Coordination de la gestion de crise en situation d'étéage..... | 64 |
| 9.2 | Les accords internationaux de répartition des débits du bassin de la Meuse | 65 |
| 9.2.1 | Accord international sur la centrale nucléaire de CHOOZ | 65 |
| 9.2.2 | Convention entre la Région flamande et le Royaume des Pays-Bas en matière d'évacuation des eaux de la Meuse | 66 |
| 9.2.3 | Convention sur l'eau pour les canaux du Limbourg (Midden-Limburgse kanalen) et du Brabant septentrional (WATAK MLNBK) | 66 |
| 10. | Effets potentiels du changement climatique sur l'évolution des débits d'étéage..... | 67 |
| 10.1 | AMICE ⁽⁰⁵⁾ | 67 |
| 10.1.1 | Modèles hydrologiques utilisés et points de calculs..... | 67 |
| 10.1.2 | Scénarios climatiques utilisés pour les projections hydrologiques..... | 68 |
| 10.1.3 | Résultats | 68 |
| 10.2 | Nouvelles connaissances disponibles depuis AMICE | 69 |
| 10.2.1 | Pays-Bas ⁽⁰⁷⁾ | 69 |
| 10.2.2 | France..... | 72 |
| 10.2.3 | Wallonie | 73 |
| 10.2.4 | Allemagne..... | 73 |
| 10.2.5 | Flandre..... | 74 |
| 11. | Conclusions et recommandations..... | 80 |
| 11.1 | Débits..... | 80 |
| 11.2 | Impact des étiages sur les états chimique et écologique des masses d'eau de surface aux frontières..... | 81 |
| 11.3 | Impact des étiages sur les différents usages des eaux de surface..... | 83 |
| 11.4 | Effets potentiels du changement climatique sur l'évolution des débits d'étéage..... | 84 |

Remerciements

Participants aux groupes de travail :

Andre Bannink, Denis Besozzi, Hendrik Buiteveld, Louise Busi, Ina Comhaire, Maxime Delolme, Ilke Dieltjens, Philippe Dierickx, Sébastien Gailliez, Thierry Garnavault, Jaap Goudriaan, Bert Hidding, Aleksandra Jaskula Joustra, Georges Jumet, Nathalie Klasen, David Kroekenstoel, Audrey Lahousse, Blanca Linz, Thomas Menzel, Saskia Onnink, Delphine Pontegnie, Gertrud Schaffeldt, Claude Schortgen, Jean-Marie Stam, Leon Stelten, Anne Trentels, Maarten Van der Ploeg, Niels Van Steenbergen, Jean-Pierre Wagner, Stéphanie Zaros

Présidence et chefs de délégation :

Didier D’hont, Olivier Dekyvere, Henri Hansen, Heide Jekel, Nathalie Klasen, Marie-Christine Lahaye, Alain Lercher, Liz Van Duin

Secrétariat de la Commission Internationale de la Meuse :

Jérôme Delvaux, Jean-Noël Pansera, Laurence Tahay

A la mémoire de Marcel de Wit dont le contenu du livre "Gouttes de pluie, flux de Meuse" a été utilisé pour le chapitre 4 du plan d'approche des étiages exceptionnels.

La CIM remercie son éditeur VEEN Magazines et ses ayants droits pour leur aimable autorisation à reprendre quelques parties du texte de cet ouvrage qui a été précurseur en matière de réflexion sur la thématique des étiages à l'échelle du bassin international de la Meuse.

Liste des figures

| | |
|--|----|
| Figure 1 : Évaluation de l'état d'une masse d'eau de surface selon la définition normative de l'annexe V de la DCE | 11 |
| Figure 2 : Mesures à prendre selon le type de déficit quantitatif rencontré ⁽⁰³⁾ | 14 |
| Figure 3 : carte des stations de référence pour la gestion quantitative des eaux de surface de la partie française du bassin de la Meuse (source : SDAGE Rhin-Meuse) | 15 |
| Figure 4 : Cycle hydrologique ⁽⁰⁴⁾ | 21 |
| Figure 5 : Bilan hydrique annuel approximatif du bassin hydrographique de la Meuse (km ³) ⁽⁰⁴⁾ | 22 |
| Figure 6 : Contribution relative (pourcentage) de la Meuse amont et de ses affluents au débit à l'exutoire du bassin versant hydrographique ⁽⁰⁴⁾ | 22 |
| Figure 7 : Régime hydrologique de la Meuse et de trois fleuves européens ⁽⁰⁴⁾ | 23 |
| Figure 8 : Quantité d'eau qui tombe sous forme de précipitations, s'évapore et est transportée mensuellement dans le bassin hydrographique de la Meuse ⁽⁰⁴⁾ | 24 |
| Figure 9 : Quantité d'eau (mm) qui est stockée dans le sol (emménagement) par rapport au mois de septembre (0 mm) ⁽⁰⁴⁾ | 24 |
| Figure 10 : Aperçu des principales adaptations apportées à la Meuse, à ses affluents et à ses canaux. Sur la base de Micha & Borlee (1989) et de Berger & Mugie (1994) ⁽⁰⁴⁾ | 25 |
| Figure 11 : Canaux dans le bassin de la Meuse ⁽⁰⁴⁾ | 26 |
| Figure 12 : Principaux barrages réservoirs du bassin hydrographique de la Meuse (source – CIM - rapport de synthèse 2012) | 27 |
| Figure 13 : Carte des stations de référence sur le bassin français de la Meuse | 30 |
| Figure 14 : Schéma d'alimentation hydraulique du canal de la Meuse et du canal des Ardennes | 31 |
| Figure 15 : carte des exhaures minières du Nord-Est de la France | 32 |
| Figure 16 : Périodes d'exhaures minières (en bleu) selon les secteurs (période durant lesquelles l'eau d'infiltration des mines a été pompée et rejetée dans le réseau hydrographique superficiel) | 32 |
| Figure 17 : débit moyen mensuel évaporé par la centrale de Chooz entre 2011 et 2015 (en m ³ /s) ... | 34 |
| Figure 18 : carte des influences et des stations hydrologiques | 35 |
| Figure 19 : Débit de la Meuse à Saint-Mihiel | 35 |
| Figure 20 : Localisation des stations de mesure hydrologiques de Chooz | 37 |
| Figure 21 : DHI Meuse – partie wallonne – naturalisation des débits de la Meuse | 38 |
| Figure 22 : Débits journaliers de la Meuse (01/01/2004 - 31/07/2016) | 38 |
| Figure 23 : Ecart (%) entre la série de débits naturels et de débits "mesurés" à Liège (01/01/2004 - 31/07/2016) | 39 |
| Figure 24 : Ecart (%) entre la série de débits naturels et de débits "mesurés" à Liège (01/01/2004 - 31/07/2016) -Retrait des périodes de chômage de la Meuse | 39 |
| Figure 25 : Schéma des principales connexions et affluents de la Meuse en aval de Liège | 41 |
| Figure 26 : Composition de la série naturelle Lith | 42 |
| Figure 27 : carte du réseau de suivi en commun du bassin de la Meuse | 45 |
| Figure 28 : Valeurs seuils de débit utilisées pour qualifier l'intensité de l'étiage | 46 |
| Figure 29 : Comparaison des VCN7 annuels aux temps de retour de 2, 5, 10, 20 et 50 ans pour les stations de Chooz, Liège et Lith-Megen (1958-2018) | 47 |
| Figure 30 : Comparaison des VCN7 annuels aux temps de retour de 2, 5, 10, 20 et 50 ans pour la station de Lith-Megen (1911-1957) | 48 |
| Figure 31 : Exemple de calcul pour une station hydrologique donnée et pour l'année d'étiage de 2003 des paramètres SumD et MaxD associés au franchissement des valeurs du VCN7 annuel pour les temps de retour de 2, 5, 10, 20 ans | 48 |

| | |
|--|----|
| Figure 32 : nombre total de jours où le M7Q calculé pour chaque jour calendaire a été inférieur à un seuil donné (paramètre SumD) pour les temps de retour de 2, 5, 10, 20 et 50 ans – stations de Chooz, Liège et Lith-Megen (1958-2018) | 49 |
| Figure 33 : nombre maximal de jours consécutifs dans l'année où le M7Q calculé pour chaque jour calendaire a été inférieur à un seuil donné (paramètre MaxD) pour les temps de retour de 2, 5, 10, 20 et 50 ans – stations de Chooz, Liège et Lith-Megen (1958-2018) | 50 |
| Figure 34 : nombre total de jours où le M7Q calculé pour chaque jour calendaire a été inférieur à un seuil donné (paramètre SumD) pour les temps de retour de 2, 5, 10, 20 et 50 ans pour les stations de Chooz, Liège et Lith-Megen de 1960 à 1979 | 51 |
| Figure 35 : nombre total de jours où le M7Q calculé pour chaque jour calendaire a été inférieur à un seuil donné (paramètre SumD) pour les temps de retour de 2, 5, 10, 20 et 50 ans pour les stations de Chooz, Liège et Lith-Megen de 1980 à 1999 | 51 |
| Figure 36 : nombre total de jours où le M7Q calculé pour chaque jour calendaire a été inférieur à un seuil donné (paramètre SumD) pour les temps de retour de 2, 5, 10, 20 et 50 ans pour les stations de Chooz, Liège et Lith-Megen de 2000 à 2018 | 52 |
| Figure 37 : nombre maximal de jours consécutifs dans l'année où le M7Q calculé pour chaque jour calendaire a été inférieur à un seuil donné (paramètre MaxD) pour les temps de retour de 2, 5, 10, 20 et 50 ans pour les stations de Chooz, Liège et Lith-Megen de 1960 à 1979 | 52 |
| Figure 38 : nombre maximal de jours consécutifs dans l'année où le M7Q calculé pour chaque jour calendaire a été inférieur à un seuil donné (paramètre MaxD) pour les temps de retour de 2, 5, 10, 20 et 50 ans pour les stations de Chooz, Liège et Lith-Megen de 1980 à 1999 | 53 |
| Figure 39 : nombre maximal de jours consécutifs dans l'année où le M7Q calculé pour chaque jour calendaire a été inférieur à un seuil donné (paramètre MaxD) pour les temps de retour de 2, 5, 10, 20 et 50 ans pour les stations de Chooz, Liège et Lith-Megen de 2000 à 2018 | 53 |
| Figure 40 : Liens entre les étiages (respectivement les crues) et l'état des eaux de surface | 56 |
| Figure 41 : localisation des sites de suivi composant le Réseau de Mesures Homogène (RMH) Meuse | 58 |
| Figure 42 : Évolution de la concentration minimale annuelle en oxygène dissous mesurée dans trois sites de suivi de la qualité des eaux établis sur le cours principal de la Meuse | 59 |
| Figure 43 : Évolution de la concentration maximale annuelle en nitrates dans 3 sites de suivi de la qualité des eaux du cours principal de la Meuse | 59 |
| Figure 44 : Schéma de principe des impacts des étiages sur l'état des eaux et les usages | 61 |
| Figure 45 : conflits potentiels entre usagers de l'eau en période d'étiage | 62 |
| Figure 46 : Logigramme décisionnel relatif à la nécessité de coordonner les actions de gestion quantitative à l'échelle internationale | 63 |
| Figure 47 : Logigramme décisionnel répondant au besoin de coordination internationale pour la gestion de crise à l'étiage | 64 |
| Figure 48 : Carte des points de calculs hydrologiques retenus dans le cadre du projet AMICE ⁽⁰⁵⁾ | 67 |
| Figure 49 : scénarios KNMI'14 (G signifie gematigd, c'est-à-dire modéré en néerlandais ; W signifie warm, c'est-à-dire chaud en néerlandais – H signifie high et L signifie low) ⁽⁰⁷⁾ | 69 |
| Figure 50 : augmentation des températures à l'horizon 2050 et 2085 par rapport à la période 1981-2010 dans les scénarios KNMI'14 ⁽⁰⁷⁾ | 70 |
| Figure 51 : évolution calculée à la station de Borgharen des débits moyens mensuels | 71 |
| Figure 52 : évolution calculée à la station de Borgharen des VCN7 annuels | 71 |
| Figure 53 : débits mensuels interannuels calculés avec les modèles hydrologiques GR4J et ISBA-MODCOU pour les périodes 1961-1990 (PST) et 2046-2065 (FUT) à Chooz avec les 7 modèles climatiques du projet EXPLORE 2070 ⁽⁰⁹⁾ (traits de couleur) – Les débits observés sont en pointillés noirs | 72 |

| | |
|---|----|
| Figure 54 : valeurs médiane, minimale et maximale à Chooz des évolutions relatives entre les périodes 1961-1990 et 2046-2065 du VCN10, VCN30 et QMNA calculées avec le modèle GR4J (jaune) et le modèle Modcou (vert) avec les 7 modèles climatiques du projet EXPLORE 2070 ⁽⁰⁹⁾ | 73 |
| Figure 55 : stations calculées dans le cadre du projet CCI-HYDR ⁽¹³⁾ | 74 |
| Figure 56 : schéma des mécanismes du modèle SCHEME ⁽¹³⁾ | 75 |
| Figure 57 : principe de production des données climatiques utilisées pour les calculs avec SCHEME ⁽¹³⁾ | 76 |
| Figure 58 : évolution du nombre de jours pour lesquels le débit journalier est inférieur au percentile 0.05 pour l'Ourthe à Angleur scénarios A2 à gauche et B2 à droite ⁽¹³⁾ | 78 |
| Figure 59 : évolution du nombre de jours pour lesquels le débit journalier est inférieur au percentile 0.05 pour la Meuse à Chooz pour l'ensemble des scénarios A2 et B2 à droite ⁽¹³⁾ | 78 |
| Figure 60 : Valeurs seuils de débit utilisées pour qualifier l'intensité de l'étiage..... | 80 |

Liste des Tableaux

| | |
|---|----|
| Tableau 1 : Dégressivité des priorités pour le bassin de la Meuse néerlandaise..... | 17 |
| Tableau 2 : Caractéristiques des principaux barrages réservoirs du bassin hydrographique de la Meuse (source – CIM - rapport de synthèse 2012, non publié)..... | 28 |
| Tableau 3 : Liste des prélèvements en rivière sur le bassin versant français de la Meuse pour l'eau potable | 33 |
| Tableau 4 : Consommations des principaux sites industriels du bassin français de la Meuse de 2012 à 2014..... | 33 |
| Tableau 5 : Résultats du VCN7 mesuré et naturalisé à la station de Chooz | 36 |
| Tableau 6 : Résultats du VCN7 mesuré et naturalisé à la station de Liège (2004-2015) | 40 |
| Tableau 7 : Résultats du VCN7 mesuré et naturalisé à la station de Lith-Megen..... | 43 |
| Tableau 8 : moyenne interannuelle du VCN7 pour l'ensemble de la chronique et valeurs du VCN7 annuel associé aux périodes de retour de 2, 5, 10, 20 et 50 ans pour les stations de Chooz, Liège et Lith-Megen | 54 |
| Tableau 9 : durées de dépassement des valeurs du VCN7 annuel associé aux périodes de retour de 2, 5, 10 et 20 ans pour la station de Chooz..... | 54 |
| Tableau 10 : durées de dépassement des valeurs du VCN7 annuel associé aux périodes de retour de 2, 5, 10 et 20 ans pour la station de Liège..... | 54 |
| Tableau 11 : durées de dépassement des valeurs du VCN7 annuel associé aux périodes de retour de 2, 5, 10 et 20 ans pour la station de Lith-Megen | 54 |
| Tableau 12 : tableau récapitulatif des deux étiages les plus importants communs pour les stations de Chooz, Liège et Lith-Megen..... | 55 |
| Tableau 13 : pondération appliquée aux facteurs de transformations nationaux pour aboutir à un scénario transnational ⁽⁰⁵⁾ | 68 |
| Tableau 14 : évolution maximale du VCN7 entre avril et septembre calculée dans le cadre du projet AMICE ⁽⁰⁵⁾ | 69 |
| Tableau 15 : données climatiques utilisées pour calculs hydrologiques réalisés avec SCHEME ⁽¹³⁾ | 77 |
| Tableau 16 : évolution du nombre de jours pour lesquels le débit journalier est inférieur au percentile 0.05 pour les stations du projet CCH-HYDR et l'ensemble des scénarios A2 et B2 à droite ⁽¹³⁾ | 79 |

Liste des Abréviations

AMICE : Adaptation of the Meuse to the Impacts of Climate Evolutions

CERFACS : Centre Européen de Recherche et de Formation Avancée en Calcul scientifique

CHIMERE 21 : projet de recherche «CHiers – Meuse : Evolution du RégimE hydrologique au 21e siècle»

CILE : Compagnie Intercommunale Liégeoise des Eaux SCRL

CIM : Commission Internationale de la Meuse

CIPMS : Commissions Internationales pour la Protection de la Moselle et de la Sarre

CIPR : Commission Internationale pour la Protection du Rhin

DCE : Directive Cadre sur l'Eau

DHI : District Hydrographique International

DREAL : Direction Régionale de l'environnement, de l'aménagement et du logement

DRI : Directive relative à l'évaluation et à la gestion des risques d'inondation

DSCLIM : logiciel open-source qui effectue la désagrégation statistique de scénarios climatiques en utilisant une méthode basée sur les régimes de temps et les analogues

EDF : Electricité de France

GCM : Global Climate Models

GIEC : Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat

GT : Groupe de Travail

GT H : Groupe de Travail Hydrologie/inondation

KMI: Koninklijk Meteorologisch Instituut van België (Institut Royal Météorologique de Belgique)

KNMI : Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut (Institut Royal Météorologique Néerlandais)

LAWA : Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser

MaxD : nombre maximal de jours consécutifs dans l'année où le VCN7 calculé pour chaque jour calendaire a été inférieur à un seuil donné

M7Q : Moyenne arithmétique du débit de 7 jours consécutifs

PRUDENCE : Prediction of Regional scenarios and Uncertainties for Defining European Climate change risks and Effects

RCM : Regional Climate Models

RMH : Réseau de Mesure Homogène

SAFRAN : Système d'Analyse Fournissant des Renseignements Adaptés à la Nivologie

SDAGE : Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux

SPW : Service Public de Wallonie

SumD : nombre total de jours dans l'année civile où le VCN7 calculé pour chaque jour calendaire a été inférieur à un seuil donné

SWDE: Société Wallonne des Eaux

VCN7 : plus faible moyenne des moyennes arithmétiques de débit sur 7 jours consécutifs sur une période donnée (année, mois, semaine...). Ici 1 année.

WATAK MLNBK : Waterakkoord Midden-Limburgse en Noord-Brabantse kanalen

1. Introduction

L'étiage est un phénomène naturel qui peut concerner tous les cours d'eau, y compris les rivières transfrontalières comme la Meuse, la Sambre, la Chiers ou la Roer. Il résulte d'une période d'absence prolongée de précipitations sur le bassin versant d'un cours d'eau. Les conditions hydrogéologiques du bassin jouent également un rôle essentiel, ce qui fait que des cours d'eau géographiquement proches les uns des autres peuvent réagir différemment à l'absence de précipitations. L'activité humaine et/ou le changement climatique attendu peuvent/peut en outre accentuer le phénomène.

Lors de la 18ème assemblée plénière de la CIM du 26 novembre 2010, les Etats et Régions parties à la CIM décidèrent d'entériner un plan d'approche sur les étiages. Ce plan d'approche avait pour objectif d'anticiper au mieux les situations d'étiage extrême et de carence en eau qui en découlent dans le bassin versant de la Meuse et ainsi de limiter au maximum les dégâts causés par celles-ci.

En application de cette résolution, le GT « hydrologie / inondation » de la CIM a réalisé de 2011 à 2012, un 1er travail d'analyse sur cette thématique qui a conduit à la production d'un rapport de synthèse sur la « Liste des principaux éléments de la problématique de l'étiage dans les différents pays et régions du bassin versant de la Meuse ».

Lors de la présentation de ce rapport de synthèse, l'assemblée plénière de la CIM a demandé aux groupes de travail « hydrologie – inondation », « directive cadre sur l'eau » et « régie et coordination » d'approfondir ce 1er travail afin de répondre aux trois questions suivantes :

- qu'est-ce qu'un étiage exceptionnel dans le bassin de la Meuse ?
- quelles sont ses conséquences concrètes ?
- comment peut-on réagir dans une telle situation ?

Le rapport soumis présente un résumé des connaissances actuelles et définit ce qu'est un épisode d'étiage exceptionnel dans le bassin de la Meuse en se basant sur un grand nombre de nouvelles données.

Les premières conséquences concrètes qui en découlent et les premières approches des réactions envisageables sont également exposées.

2. Cadre juridique

2.1 La Directive Cadre sur l'Eau et ses documents guides

2.1.1. Etiage et bon état des masses d'eau de surface

Lorsque l'on observe la définition normative du bon état¹ définie à l'annexe V de la DCE, on peut constater que la classification de l'état écologique des masses d'eau de surface se base prioritairement sur des paramètres biologiques. A titre de soutien de ces derniers sont considérés des paramètres hydromorphologiques, chimiques et physico-chimiques. Les paramètres hydrologiques ne sont pris en compte que dans le cadre des paramètres hydromorphologiques sous la forme du régime hydrologique (quantité et dynamique des débits d'eau, connexion aux masses d'eau souterraine (cf. figure 1)).

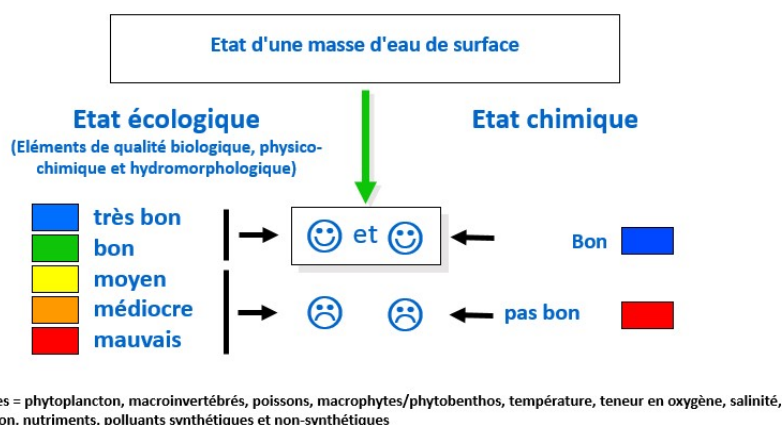


Figure 1 : Évaluation de l'état d'une masse d'eau de surface selon la définition normative de l'annexe V de la DCE

Cette observation met en évidence le fait que lorsque l'on cherche à évaluer si une masse d'eau est en bon état ou non, **les conditions hydrologiques doivent être prises en compte comme une cause ou un facteur explicatif** des éventuelles altérations/dégradations constatées au niveau des paramètres biologiques, physico-chimiques et chimiques.

En d'autres termes cela veut dire que les autorités compétentes des districts hydrographiques sont tenues de **prendre des mesures/actions pour agir sur les conditions hydrologiques qui existent au niveau d'une masse d'eau de surface si celles-ci sont identifiées comme étant un des facteurs qui empêchent d'atteindre le bon état.**

¹ La prise en compte du régime hydrologique d'une masse d'eau intervient à l'instar de ses conditions morphologies lorsque l'on cherche à évaluer si cette masse d'eau est en très bon état ou non.

2.1.2. Programmes de mesures de la DCE et actions de gestion quantitative

Dans son article 11 relatif au programme de mesures permettant d'atteindre les objectifs environnementaux des masses d'eau, **la DCE prévoit une série (non exhaustive) d'actions relatives à la gestion quantitative des masses d'eau** (cf. partie B de l'annexe VI de la DCE):

- *Contrôle des captages,*
- *Mesures de gestion de la demande, et notamment promotion d'une production agricole adaptée, telle que des cultures à faibles besoins en eau dans les zones affectées par la sécheresse,*
- *Mesures concernant l'efficacité et le recyclage, et notamment promotion des technologies favorisant une utilisation efficace de l'eau dans l'industrie ainsi que des techniques d'irrigation économisant l'eau,*
- *Usines de dessalement,*
- *Projets de restauration.*

Afin de déterminer si de telles actions de gestion quantitatives sont nécessaires, **la DCE prévoit notamment de réaliser les deux analyses suivantes lors de l'identification des pressions qui peuvent dégrader l'état des masses d'eau de surface** (cf. section 1.4 de l'annexe II de la DCE) :

- *Estimation et identification des captages importants d'eau à des fins urbaines, industrielles, agricoles et autres, y compris les variations saisonnières et la demande annuelle totale, et des pertes d'eau dans les systèmes de distribution ;*
- *Estimation et identification de l'incidence des régulations importantes du débit d'eau, y compris les transferts et diversions d'eau, sur les caractéristiques générales du débit et les équilibres hydrologiques.*

Ces analyses sont réalisées dans le cadre de l'élaboration des états des lieux telle que prévue par l'article 5 de la DCE.

Le „plan d'approche des étiages“ constitue une première approche limitée à cet effet.

Il convient de conserver à l'esprit que l'efficacité technique des mesures mises en œuvre peut être significativement réduite lorsque les conditions naturelles sont défavorables. Les Etats-membres doivent être conscients que des conditions naturelles difficiles peuvent réduire l'efficacité des programmes de mesures nationaux prévus dans le cadre de la DCE.

C'est la raison pour laquelle, la DCE prévoit dans son article 4, paragraphe 6, une possibilité de dérogation temporaire aux objectifs environnementaux d'une masse d'eau dans le cas « **de circonstances dues à des causes naturelles ou de force majeure, qui sont exceptionnelles ou qui n'auraient raisonnablement pas pu être prévues en particulier les graves inondations et les sécheresses prolongées [...] lorsque toutes les conditions suivantes sont réunies** :

- a) *Toutes les mesures faisables sont prises pour prévenir toute nouvelle dégradation de l'état et pour ne pas compromettre la réalisation des objectifs de la présente directive dans d'autres masses d'eau non touchées par ces circonstances ;*
- b) *Les conditions dans lesquelles de telles circonstances exceptionnelles ou non raisonnablement prévisibles peuvent être déclarées, y compris l'adoption des*

indicateurs appropriés, sont indiquées dans le plan de gestion de district hydrographique ;

- c) Les mesures à prendre dans de telles circonstances exceptionnelles sont indiquées dans le programme de mesures et ne compromettront pas la récupération de la qualité de la masse d'eau une fois que les circonstances seront passées ;*
- d) Les effets des circonstances exceptionnelles ou qui n'auraient raisonnablement pas pu être prévues sont revus chaque année et, sous réserve des motifs énoncés au paragraphe 4, point a), toutes les mesures faisables sont prises pour restaurer, dans les meilleurs délais raisonnablement possibles, la masse d'eau dans l'état qui était le sien avant les effets de ces circonstances, et*
- e) Un résumé des effets des circonstances et des mesures prises ou à prendre conformément aux points a) et d) est inclus dans la prochaine mise à jour du plan de gestion de district hydrographique. »*

Si l'on se réfère au document guide européen n°20⁽⁰¹⁾ issu du processus CIS (Common Implementation Strategy) de mise en œuvre de la DCE, on peut, en cas de sécheresse prolongée, répondre temporairement aux besoins prioritaires liés à l'activité humaine (par exemple l'approvisionnement en eau potable) au détriment des besoins environnementaux à condition que les conditions de l'article 4, paragraphe 6, de la DCE soient respectées².

Le document guide précité indique au sujet des étiages exceptionnels que :

- les Etats membres doivent faire la distinction entre les effets de sécheresse prolongée qui sont de purs phénomènes naturels et les effets des activités humaines³.*
- il est nécessaire de faire la distinction entre la sécheresse en elle-même et les effets des usages de l'eau et des pratiques de gestion⁴.*

Le rapport technique sur la gestion de la sécheresse⁽⁰²⁾, par exemple, clarifie ce qui suit (voir figure 2) :

- Dans les programmes de mesures prévus à l'article 11 et à l'annexe VI de la DCE, des actions de gestion des quantités d'eau sont à prendre pour éviter des déficits quantitatifs permanents ou fréquents qui empêchent d'atteindre les objectifs environnementaux des masses d'eau de surface.
- En outre, il conviendrait que les États membres qui veulent bénéficier de la dérogation prévue à l'article 4, paragraphe 6, de la DCE en cas de sécheresse prolongée élaborent un plan de gestion des étiages en y définissant :
 - **« les conditions dans lesquelles [des] circonstances exceptionnelles [d'étiage] peuvent être déclarées, y compris l'adoption des indicateurs appropriés »,**
 - **« les mesures [temporaires] à prendre dans de telles circonstances exceptionnelles ».**

² "during a prolonged drought, (...), priority needs related to human activity (e.g. drinking water supply) can be temporarily met at the expense of the environmental needs, i.e. allowing a temporary non-achievement of the environmental objectives"

³ "Member States will have to differentiate between the effects of prolonged droughts, which are purely natural phenomena, and the effects of human activities."

⁴ "It is necessary to distinguish between the drought itself and the effects of water use and management practices."

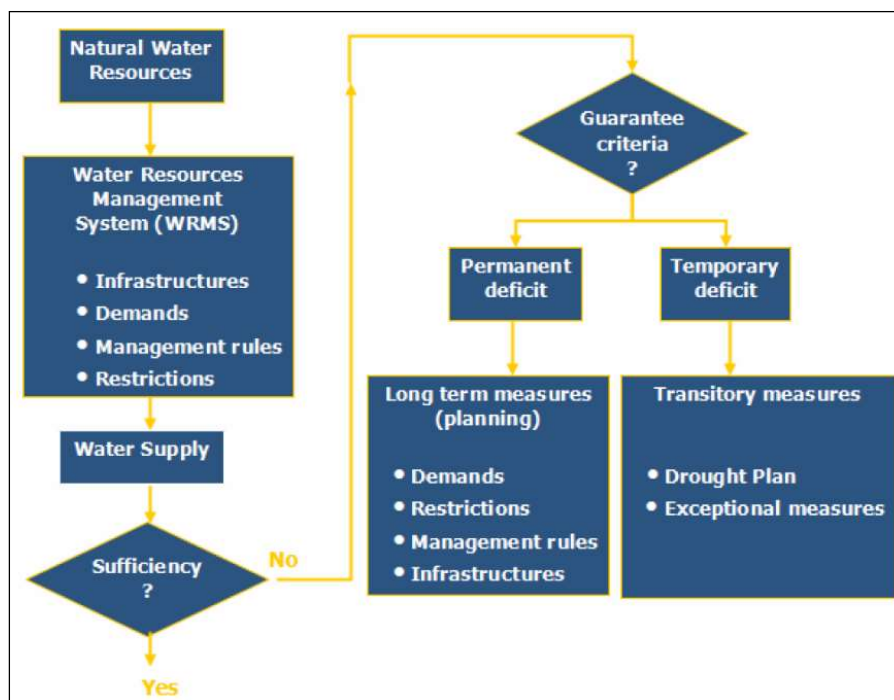


Figure 2 : Mesures à prendre selon le type de déficit quantitatif rencontré ⁽⁰³⁾

Selon le rapport technique 2008-023⁵, qui est utilisé ici à titre d'exemple, les aspects suivants sont importants pour un plan de gestion des étiages :

- Définition d'indicateurs, en particulier de valeurs seuils de débit (ou de déficit en pluie en l'absence de points de surveillance hydrologique) associés aux différents stades de la sécheresse,
- Mise en œuvre de mesures en fonction du degré de dépassement de ces valeurs, pour éviter de compromettre autant que possible la réalisation des objectifs de la DCE et limiter aussi peu que possible les utilisations de l'eau, en particulier l'approvisionnement en eau potable.

Dans la pratique, la fixation des débits seuils de gestion de sécheresse se heurte aux difficultés matérielles suivantes liées aux dispositions de la DCE :

- A l'instar des valeurs de référence spécifiques au type de cours d'eau et qui sont associées au très bon état pour les éléments de qualité de l'état écologique au titre de la DCE, **ces valeurs seuils ne peuvent pas être déterminées indépendamment de la taille du bassin versant ainsi que des conditions climatiques et géologiques des masses d'eau.**

⁵ Le rapport technique distingue à cet égard 4 situations associées à des mesures correspondantes :

État normal : Pas de mesures supplémentaires nécessaires en dehors de celles qui contribuent à atteindre un bon état au titre de la DCE par une gestion durable de l'eau, par exemple en contrôlant la demande en eau, le stockage de l'eau, etc. ;

Préalerte : Mise en œuvre des premières mesures de gestion de la sécheresse (i.e. information et actions de contrôle) afin de prévenir la dégradation de l'état des masses d'eau, prendre tout en continuant à répondre aux besoins en eau ;

État d'alerte : Intensification de l'état de préalerte au travers de mesures d'économie d'eau ou réduction de la consommation d'eau (en fonction de l'impact socio-économique des mesures et en consultation avec les parties prenantes) afin d'éviter la dégradation de l'état des masses d'eau ;

Etat de crise ou étiage extrême : Toutes les mesures de précaution des étapes précédentes ont été mises en œuvre, mais la situation de sécheresse atteint une phase critique où il n'y a plus suffisamment de ressources en eau pour répondre aux besoins minimaux (avec également des impacts et des limitations sur l'approvisionnement public), nécessité de mesures supplémentaires pour minimiser les impacts sur les masses d'eau, écologie et approvisionnement en eau potable. Dans cette situation de crise jusqu'au retour à l'état normal, des mesures sont à mettre en œuvre pour assurer la restauration des écosystèmes aquatiques le plus rapidement possible.

- **Ces valeurs seuils doivent non seulement tenir compte des écorégions et des types de masse d'eau de surface, mais aussi des usages autorisés par les autorités compétentes (flux de pollution rejetés et débits prélevés).**

2.2 Corpus réglementaires nationaux

2.2.1. En France

En France, il n'existe pas de décision fixant de manière permanente les priorités pour les différentes utilisations de l'eau dans le bassin de la Meuse car l'eau y est globalement suffisante tant au niveau des eaux de surface que des eaux souterraines.

Le SDAGE (Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux) correspond au plan de gestion français de la directive cadre sur l'eau pour la problématique de gestion des étiages. Il met en évidence une absence de déséquilibre global marqué entre l'utilisation de l'eau et la ressource disponible dans le district de la Meuse. De ce fait, ses orientations et dispositions ne visent pas à gérer des déséquilibres structurels mais à faire face à des situations exceptionnelles ou locales de sécheresse et de surexploitation de la ressource en eau.

Des débits de crise ont ainsi été définis à Chooz ($Q = 14 \text{ m}^3/\text{s}$) et à Saint-Mihiel ($Q = 1,2 \text{ m}^3/\text{s}$) et correspondent à des valeurs en dessous desquelles seuls les besoins d'alimentation en eau potable et les besoins des milieux naturels peuvent être satisfaits (cf. figure n°3).

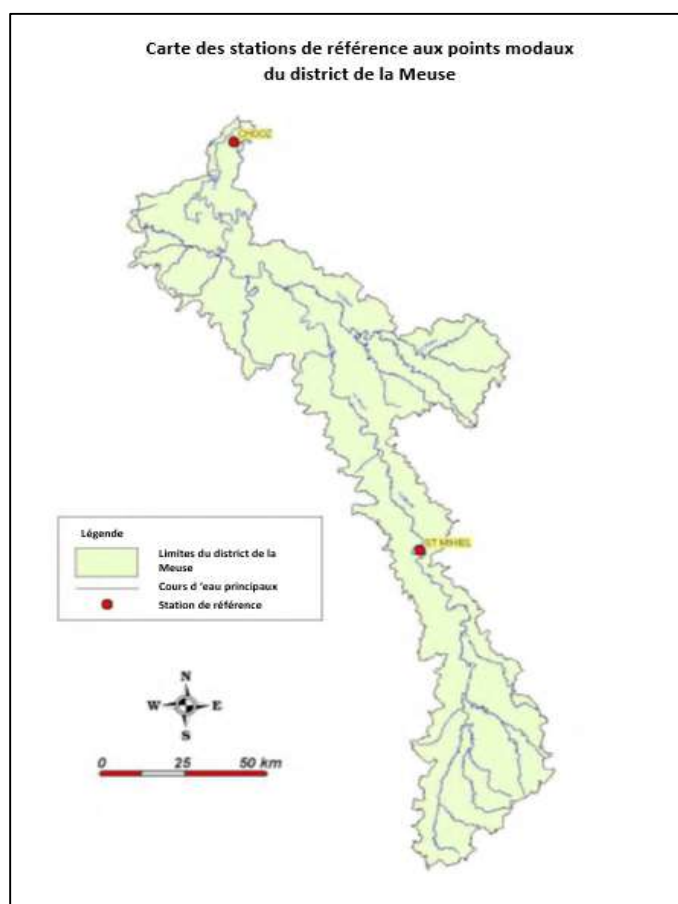


Figure 3 : carte des stations de référence pour la gestion quantitative des eaux de surface de la partie française du bassin de la Meuse (source : SDAGE Rhin-Meuse)

Ces débits de crise servent de guide aux arrêtés cadres départementaux de gestion de la sécheresse, qui prennent en compte de façon plus détaillée les affluents de ces cours d'eau. Ces arrêtés définissent notamment un catalogue de mesures de restrictions des usages de l'eau qui seront mises en œuvre de manière échelonnée par le préfet lors d'épisodes de sécheresse.

2.2.2. En Wallonie

En Wallonie, pour les voies hydrauliques, une certaine priorité est donnée à la fonction transport de la voie d'eau. Des règles particulières existent au travers des permis d'exploiter de certaines industries qui doivent limiter voire arrêter leurs activités dans certaines circonstances.

Le Décret sur la Gestion des Cours d'Eau non-navigables adopté le 15 décembre 2018 permet de suspendre certaines activités en période d'étiage comme par exemple certains prélèvements en eaux de surface.

Une étude a permis de voir comment adapter la législation sur l'Environnement et l'Eau, afin de disposer de leviers légaux pour gérer les situations de sécheresse.

2.2.3. En Flandre

Dans le cadre de la partie réactive du plan de gestion des pénuries d'eau et des risques de sécheresse, un scénario a été mis au point pour décrire le cadre dans lequel se dérouleront les échanges d'informations entre les différentes parties et la coordination des mesures et de la communication en cas de pénurie d'eau et de sécheresse.

C'est ainsi qu'il existe en Flandre un cadre provisoire de pondération des usages prioritaires de l'eau dans l'attente d'un cadre définitif qui est attendu au printemps 2021.

La Commission Sécheresse a également été créée en 2018 avec pour tâche d'assurer la coordination au niveau flamand durant les périodes de pénurie d'eau et de sécheresse et de conseiller des mesures adaptées.

Pour ce qui est de la politique proactive à mener en matière de pénurie d'eau et de sécheresse, un plan de gestion flamand des pénuries d'eau et des risques de sécheresse sera établi et repris dans la troisième génération des plans de gestion de bassin.

Dans le décret relatif à la politique intégrée de l'eau, il est en outre prévu que des objectifs en termes de qualité ou de quantité d'eau seront établis et que le bon état quantitatif des eaux de surface sera atteint.

2.2.4. Aux Pays-Bas

Aux Pays-Bas, la série dégressive de priorités définit comment l'eau disponible est répartie en période de déficit en eau (Tableau 1). Cette série fixe les priorités suivant lesquelles les différentes catégories d'utilisateurs d'eau (p.ex. agriculture, nature, navigation, eau potable) sont approvisionnées en eau, et constitue donc la base sur laquelle seront prises les décisions concernant la répartition de l'eau durant les périodes de déficit en eau. Cette série est ensuite déclinée au niveau régional pour le bassin de la Meuse néerlandaise. Cette série reconnaît quatre catégories d'utilisateurs de l'eau. Un ordre de priorités fixe est prévu au sein des catégories 1 et 2 ; pour les catégories 3 et 4, la hiérarchisation des priorités se base sur la minimisation des risques économiques et sociétaux. Les utilisateurs bénéficiant du niveau de priorité le plus bas seront les premiers à être privés d'eau, et devront eux-mêmes prendre des mesures. La convention sur les débits de la Meuse (cf. 9.2.2) prévaut cependant sur la série dégressive de priorités.

La série dégressive de priorités constitue un guide pour le gestionnaire ; il dispose toujours encore d'une marge pour procéder à une pondération plus précise en fonction des caractéristiques spécifiques de la région, des risques, des dommages et des profits. Dans la pratique, les choix seront fixés en fonction de ces critères de sorte que les éventuelles difficultés soient réparties de la manière la plus équitable possible.

Tableau 1 : Dégressivité des priorités pour le bassin de la Meuse néerlandaise

| Catégorie 1: Sécurité et prévention des dommages irréversibles | Catégorie 2: Equipements d'utilité publique | Catégorie 3: Utilisation à haute plus-value sur une échelle réduite | Catégorie 4: Autres intérêts |
|---|--|--|--|
| 1. Stabilité des retenues d'eau par le contrôle des niveaux ¹ 2. Protection des restes de tourbières (peelrestanten) par le contrôle du niveau de l'eau dans les zones tampon | 1. Approvisionnement en eau potable 2. Fourniture d'énergie | <ul style="list-style-type: none"> • Arrosage temporaire des cultures à haut coefficient de capital • Eaux de process dans l'industrie • Renouvellement des eaux urbaines | 1. Ecologie aquatique et qualité des eaux: <ul style="list-style-type: none"> • Débit minimal dans les ruisseaux de grande valeur écologique • Lutte contre le botulisme et les cyanobactéries en lien avec les risques graves • Débit minimal des échelles à poissons (en période migratoire) 2. Autres intérêts <ul style="list-style-type: none"> • Navigation (plaisance comprise) • Agriculture (hors arrosage des pâtures) • Nature (sauf dommages irréversibles) Eaux de refroidissement pour l'industrie Autre nature aquatique |
| A priorité sur | A priorité sur | A priorité sur | |

2.2.5. En Allemagne

La distribution d'eau est régie en Allemagne par les principes généraux de gestion. Dans ce contexte, le prélèvement et la dérivation d'eau de surface ou le stockage et la diminution du niveau des eaux de surface sont soumis à autorisation en vertu du droit des eaux (permis ou autorisation). Durant la procédure d'autorisation, des règles sont fixées dans le cadre des principes généraux de gestion afin de garantir une utilisation de l'eau n'entraînant aucun

dommage. Outre la démonstration de la disponibilité des ressources en eau, des questions concernant les conséquences pour les « tiers » jouent également un rôle (impact sur des prélèvements de tiers ainsi que droits d'usage et droits sur l'eau, impact sur la nature et les paysages, zones de protection, espèces bénéficiant d'une protection spéciale, vestiges/monuments etc.). Le demandeur est tenu dans ce contexte d'apporter les preuves voulues.

2.2.6. Au Luxembourg

Au Luxembourg, tout prélèvement et rejet d'eau dans les eaux de surface est soumis à une autorisation en vertu du droit de l'eau. Dans ce contexte, l'on veille particulièrement à ce que la quantité prélevée ou rejetée n'entraîne pas une dégradation de la qualité de l'eau.

Au cours des périodes sèches et d'étiage, il est interdit de manière générale de prélever de l'eau dans les cours d'eau. Durant ces périodes tous les prélèvements d'eau couverts par une autorisation sont ainsi interdits.

Par ailleurs, le Luxembourg participe au monitoring des étiages des CIPMS.

2.3 Synthèse

La gestion de crise liée à l'étiage peut conduire à la mise en œuvre de mesures telles que la limitation ou l'arrêt d'usages (prélèvements d'eau, rejets, refroidissement des centrales thermiques, production hydroélectrique, etc.) en raison des dispositions juridiques et réglementaires qui sont différentes d'un(e) pays/région à l'autre ; ceci reste de la seule compétence des pays et/ou régions concernées même si certains usages font l'objet d'accords multilatéraux (cf. chapitre 9.2)

La gestion des situations d'étiage est réglementée différemment de pays à pays dans le bassin versant de la Meuse :

- La disponibilité de l'eau, l'utilisation de l'eau et les fonctions de cette utilisation diffèrent en fonction du pays, ce qui entraîne des différences dans la réglementation nationale ;
- les seuils de débit critiques dépendent de la fonction d'utilisation et peuvent par conséquent être différents.

Outre les débits, les considérations en rapport avec la qualité des eaux de surface jouent également un rôle à ce niveau.

Des mesures de gestion quantitative des eaux de surface peuvent aussi être nécessaires pour atteindre les objectifs environnementaux fixés par la DCE au niveau de certaines masses d'eau de surface notamment dans le cas où les prélèvements liés aux activités humaines sont identifiés comme pouvant être un des facteurs responsables de la dégradation de l'état écologique des milieux aquatiques.

L'objectif de l'Accord Meuse, en tant que fondement de la CIM, consiste à assurer une gestion durable et intégrée de l'eau dans le district hydrographique international de la Meuse. Sont intégrées dans cette approche tant la qualité de l'eau par le biais de la DCE que les crues par le biais de la DRI, mais également les sécheresses et les étiages. L'usage de l'eau en particulier en cas d'étiage peut avoir un impact sur les fonctions de l'utilisation, telles que la navigation et l'eau potable, mais bien entendu aussi sur les objectifs environnementaux de la DCE. C'est pourquoi, il est important de savoir :

- si l'accentuation de la diminution des débits à l'étiage ou la modification du régime de débit (entre autres les fluctuations de débit) provoquée par les prélèvements/la gestion liés aux activités humaines est responsable d'effets négatifs ;
- si une coordination des actions de gestion quantitative bilatérale (respectivement multilatérale) envisagées par les autorités compétentes concernées est nécessaire ou utile pour remédier à ces effets négatifs (Figure 3).

Cette approche fera l'objet du chapitre 9.1.1

Par ailleurs, comme il l'a été expliqué au chapitre 2.1.2, la survenance d'un étiage exceptionnel peut significativement réduire l'efficacité technique des actions mises en œuvre au titre des programmes de mesure des Etats membres et compromettre l'atteinte des objectifs environnementaux pour certaines masses d'eau de surface.

Si la DCE a prévu la survenance de ce cas de figure dans le cadre de la dérogation prévue à l'article 4, paragraphe 6, le recours à cette disposition est notamment conditionné par la mise en œuvre de mesures temporaires supplémentaires pour réduire autant que possible les conséquences négatives sur l'état des masses d'eau de surface.

3. Travaux antérieurs

Comme précisé en introduction, le GT « Hydrologie/Inondation » de la CIM a réalisé un premier travail d'analyse sur les situations d'étiage extrême et de carence en eau qui en découlent dans le bassin versant de la Meuse par la production du rapport de synthèse de 2012.

La sécheresse s'entend comme une période d'absence prolongée de précipitations. La sécheresse est un phénomène qui peut avoir 3 types de conséquences en fonction de sa durée :

- dans une 1^{ère} phase : un déficit en eau dans les sols qui peut impacter les activités agricoles.
- dans 2^{nde} phase : une réduction des débits dans les cours d'eau (= étiage).
- dans une 3^{ème} phase : une diminution de la ressource en eaux souterraines.

Le rapport de 2012 présente un aperçu de la situation existante dans les différentes parties du bassin en ce qui concerne :

- les accords internationaux relatifs à la répartition des eaux dans le bassin de la Meuse,
- les éventuelles règles de priorités fixées les utilisations de l'eau en période d'étiage,
- les lacs de retenues et leur fonction en cas d'étiage,
- les actions susceptibles d'être adoptées en période d'étiage (par exemple, interdictions de captage, gestion adaptée des barrages/lacs de retenue)
- les mesures mises en place pour le suivi des étiages (par exemple, les débits, les niveaux d'eau, la teneur en oxygène dissous, les algues, la température),
- les modèles hydrologiques utilisés pour prévoir l'évolution des débits à l'étiage,
- un inventaire des problèmes rencontrés lors des étiages.

4. Hydrologie de la Meuse

(Extraits tirés des Gouttes de pluies, flux de Meuse. Une gestion transnationale de l'eau par temps sec et humide de Marcel De Wit, 2008) ⁽⁰⁴⁾

« L'eau se déplace dans un cycle sans fin. Elle s'évapore de la surface de la terre, est transportée par l'atmosphère, se condense pour former des nuages et revient finalement sur la surface de la terre sous forme de précipitations, après quoi le cycle se répète. Le soleil fournit l'énergie nécessaire pour assurer le fonctionnement de ce **cycle hydrologique** » (Figure 4).

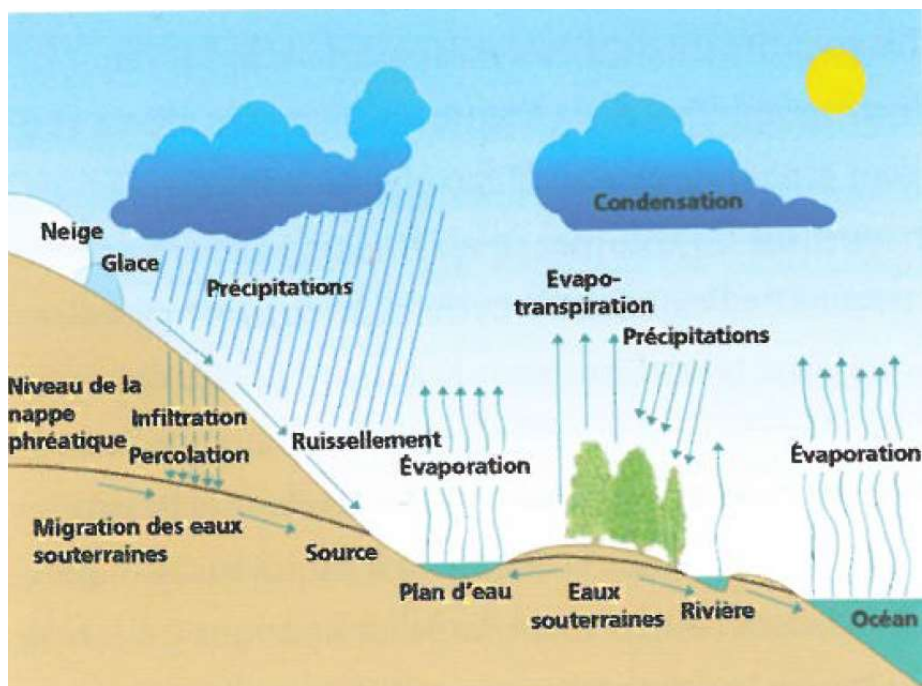


Figure 4 : Cycle hydrologique ⁽⁰⁴⁾

« En moyenne, 30 km³ d'eau tombe chaque année dans le bassin hydrographique de la Meuse sous forme de précipitations. De ces 30 km³, douze atteignent la mer. La partie restante, soit 18 km³, s'évaporent » (Figure 5).

« La quantité totale d'eau présente dans le bassin hydrographique de la Meuse est bien plus élevée et ne peut être estimée que de façon approximative. En se basant sur les volumes et sur les temps de rétention moyens de l'eau dans le cycle hydrologique global, le volume total d'eau dans le bassin de la Meuse est de l'ordre de 500 km³ (il est ici question d'eaux souterraines).

La figure 6 ci-dessous présente la contribution relative de la Meuse amont et de ses affluents au débit à l'exutoire du bassin versant hydrographique. Elle montre qu'une partie du débit (14%) provient de la partie la plus en amont du bassin versant (partie française). »

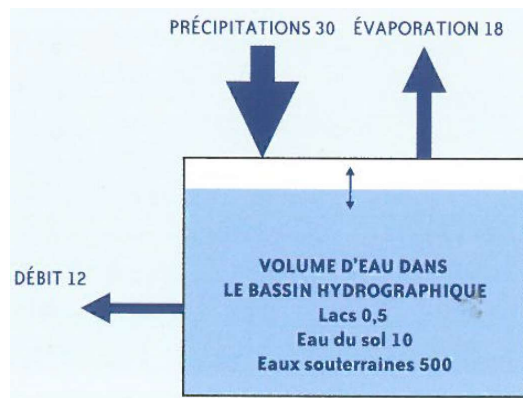


Figure 5 : Bilan hydrique annuel approximatif du bassin hydrographique de la Meuse (km³)
(04)

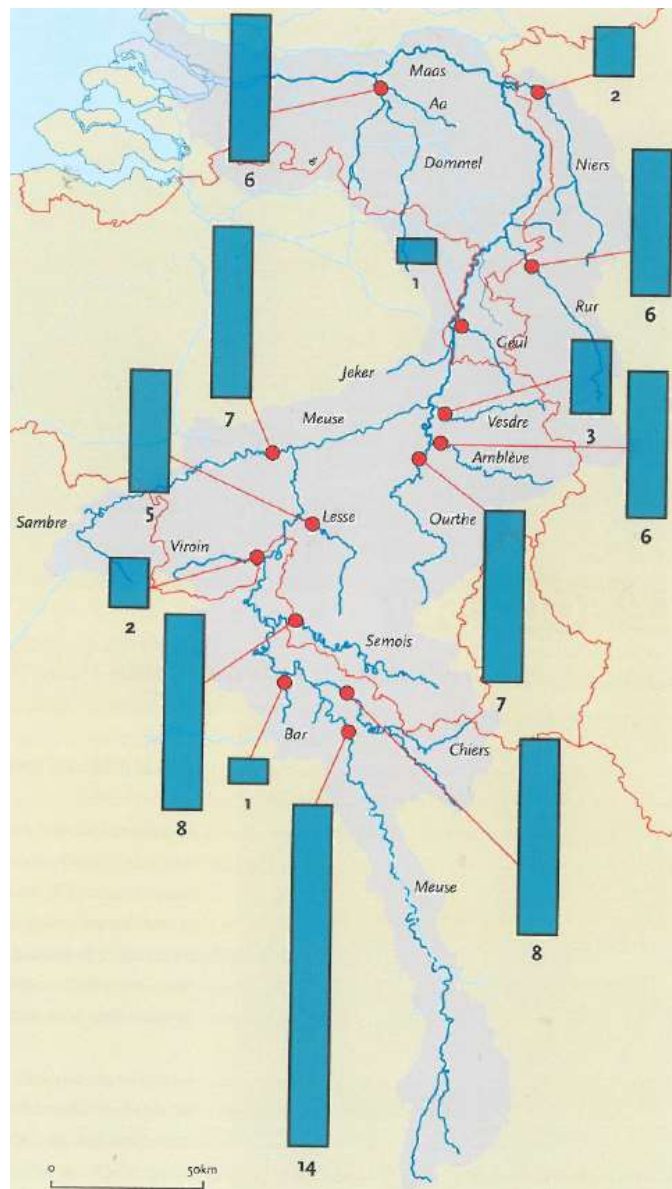


Figure 6 : Contribution relative (pourcentage) de la Meuse amont et de ses affluents au débit à l'exutoire du bassin versant hydrographique (04)

« Imaginez que les 12 km³ d'eau précités s'écoulent dans la Meuse de façon idéalement répartie tout au long de l'année. Chaque mois 1 km³ ou mille milliards de litres d'eau. Une quantité suffisante d'eau serait alors disponible et aucun embarras lié à l'eau ne surviendrait. Mais la Meuse deviendrait alors un fleuve ennuyeux et artificiel. Aucune rivière sur terre n'échappe à des fluctuations saisonnières en termes de débit. Ces fluctuations saisonnières portent le nom de **régime d'écoulement** du fleuve (Figure 7), dont le climat est le facteur le plus déterminant. »

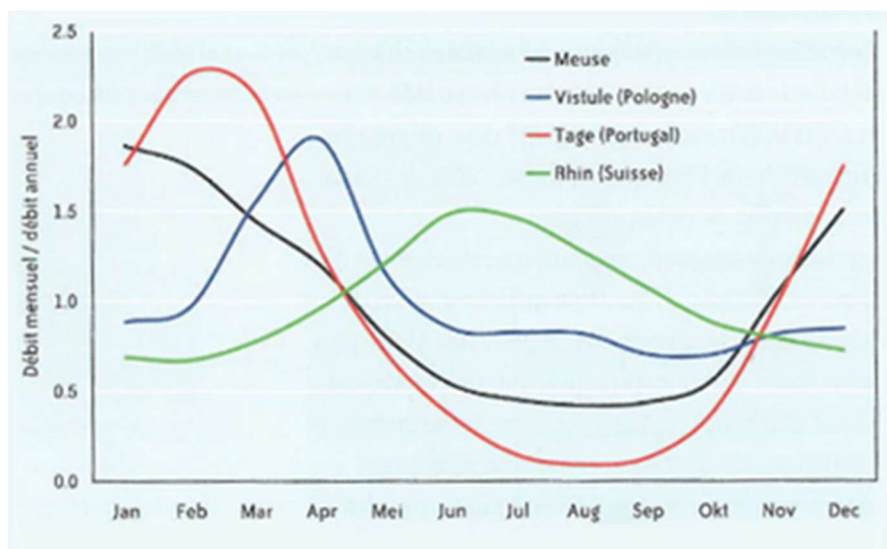


Figure 7 : Régime hydrologique de la Meuse et de trois fleuves européens (04)

« Les cours d'eau du bassin de la Meuse sont tous caractérisés par un **régime des eaux pluviales (régime d'écoulement dominé par les précipitations)**. Les débits moyens atteignent leur maximum en hiver ou au printemps et sont les plus bas en août et en septembre, voire octobre.

Les précipitations dans le bassin hydrographique de la Meuse tombent de façon répartie au fil des saisons. Toutefois le débit enregistré en hiver est plus élevé qu'en été. Pour expliquer le régime d'écoulement de la Meuse, on doit considérer l'évaporation qui est faible en hiver et élevée en été. Dans le bassin hydrographique de la Meuse, l'évaporation lors d'une journée d'été chaude, ensoleillée et venteuse peut s'élever à sept millimètres par jour. Il s'agit d'une quantité plus ou moins équivalente à la moyenne d'évaporation enregistrée lors d'un mois de janvier complet.

La conséquence est qu'un surplus de précipitations apparaît en hiver et un manque de précipitations en été. Lors d'une période caractérisée par un surplus de précipitations, le sol est saturé en eau (emmagasinement). Lors d'une période marquée par un manque de précipitations, les plantes vident véritablement le sol de son eau en l'aspirant.

Toutefois, de l'eau s'écoule dans la Meuse durant les mois d'été où la quantité d'eau qui s'évapore est plus importante que la quantité de précipitations. Ce débit est appelé **débit de base** de la rivière. Il provient du réservoir précité d'eaux souterraines qui contient beaucoup plus d'eau (approximativement 500 km³) que la quantité d'eau qui tombe du ciel sur une base annuelle (30 km³) et qui alimente la rivière, et ce même lorsqu'il ne pleut pas. Nous pouvons considérer le sous-sol comme un tampon entre les précipitations et le débit de la rivière. Ce tampon transmet le signal des précipitations de façon ralentie et atténuée comme fluctuations dans ce débit (Figures 8 et 9). »

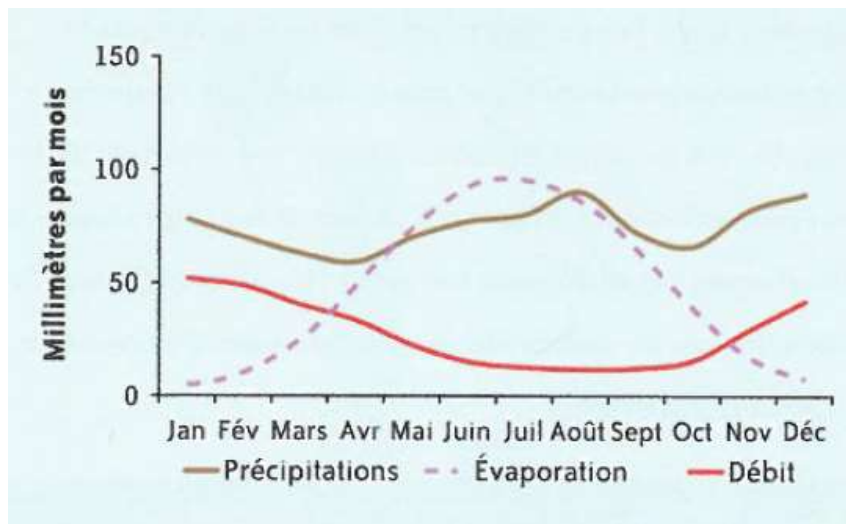


Figure 8 : Quantité d'eau qui tombe sous forme de précipitations, s'évapore et est transportée mensuellement dans le bassin hydrographique de la Meuse (04)

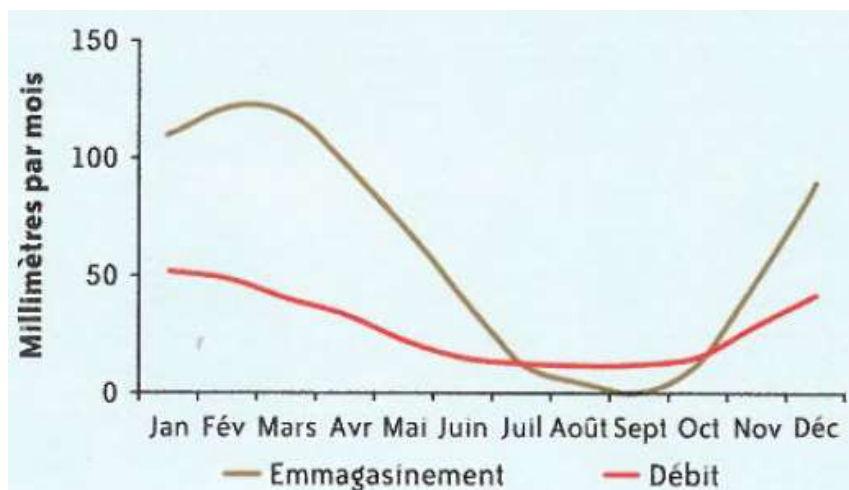


Figure 9 : Quantité d'eau (mm) qui est stockée dans le sol (emmagasinement) par rapport au mois de septembre (0 mm) (04)

« L'influence de l'homme sur le bilan hydrique global de la Meuse est limitée. Le surplus de précipitations et le volume de débit du fleuve sont principalement déterminés de façon climatique. L'homme n'exerce aucune influence sur la quantité de précipitations et n'exerce qu'un impact limité sur l'évaporation par le biais de l'utilisation du sol. L'influence de la gestion de l'eau sur le régime d'écoulement de la Meuse ne devient claire que lorsque nous réduisons le temps et l'espace. Les interventions humaines comme le drainage, l'irrigation, l'aménagement de bassins de retenue, le déplacement du cours des rivières, etc. font que l'eau s'écoule à un autre endroit et à une autre vitesse. Sur une base annuelle, cela ne fait que peu ou pas de différence pour le bilan hydrique total dans le bassin hydrographique. Mais localement, il peut s'agir de la goutte d'eau qui manque en période de sécheresse (Figures 10, 11, 12 et Tableau 2). »

| Aperçu des principales adaptations apportées à la Meuse, à ses affluents et à ses canaux | |
|---|--|
| 1808-1810 | Aménagement du Canal du nord |
| 1822-1826 | Aménagement du Zuid-Willemsvaart |
| 1824-1828 | Canalisation de la Sambre, 22 écluses (partie du canal Charleroi-Bruxelles) |
| 1826-1835 | Canalisation de la Sambre française |
| 1827-1830 | Canal Voorne-Putte (désenclavement de Rotterdam) |
| 1835 | Aménagement du canal des Ardennes |
| 1837-1845 | Tirant d'eau sur la Meuse entre la frontière française et Sedan-Verdun à 1,10 mètre |
| 1837-1853 | Aménagement du canal de la Marne au Rhin |
| 1838 | Meuse belge : chemins de halage, renforcement des digues et tirant d'eau à 1,50 mètre |
| 1843-1846 | Développement des canaux campinois |
| 1853-1880 | Canalisation de la Meuse belge : 23 écluses, tirant d'eau à 2,20 mètres |
| 1863 | Adaptation de l'aqueduc d'évacuation vers les canaux campinois |
| 1864-1884 | Nouvelle Merwede |
| 1874 | Canal de l'Est. Meuse partiellement canalisée et en partie canal parallèle : 59 écluses, tirant d'eau à 1,80 mètre |
| 1875 | Aménagement d'épis, de digues longitudinales dans la Meuse |
| 1878 | Barrage de la Gileppe. L'un des bassins de retenue les plus anciens d'Europe ouvert par Léopold II |
| 1884-1904 | Aménagement de la Bergse Maas |
| 1915-1929 | Amélioration de la Meuse aux Pays-bas : Linne-Grave, tirant d'eau à 2,80 mètres, 5 barrages |
| 1923-1940 | Modernisation de la Meuse belge : tirant d'eau à 3,00 mètres avec 15 écluses, suppression d'îlots |
| 1923 | Aménagement du canal Wilhelmina |
| 1927 | Aménagement du canal Meuse-Waal |
| 1928 | Agrandissement des canaux campinois |
| 1930-1935 | Aménagement du canal Juliana, 3 écluses |
| 1930-1945 | Aménagement du canal Albert |
| 1931-1942 | Canalisation de la Meuse : Grave-Heerewaarden, rectifications du cours et élargissement du lit majeur et du lit mineur |
| 1939 | Rurtalsperre. L'un des plus grands bassins de retenue d'Europe |
| 1942 | Fermeture du déversoir de Beers |
| 1957-1989 | Modernisation de la Meuse belge : tirant d'eau à 5-8 mètres avec 6 écluses, suppression d'îlots |
| 1970 | Aménagement du canal Latéral |
| 1980 | Rectification de cours à Gennep-Boxmeer |
| 2002 | Ascenseur de Strépy-Thieu, canal du Centre |

Figure 10 : Aperçu des principales adaptations apportées à la Meuse, à ses affluents et à ses canaux. Sur la base de Micha & Borlee (1989) et de Berger & Mugie (1994) ⁽⁰⁴⁾

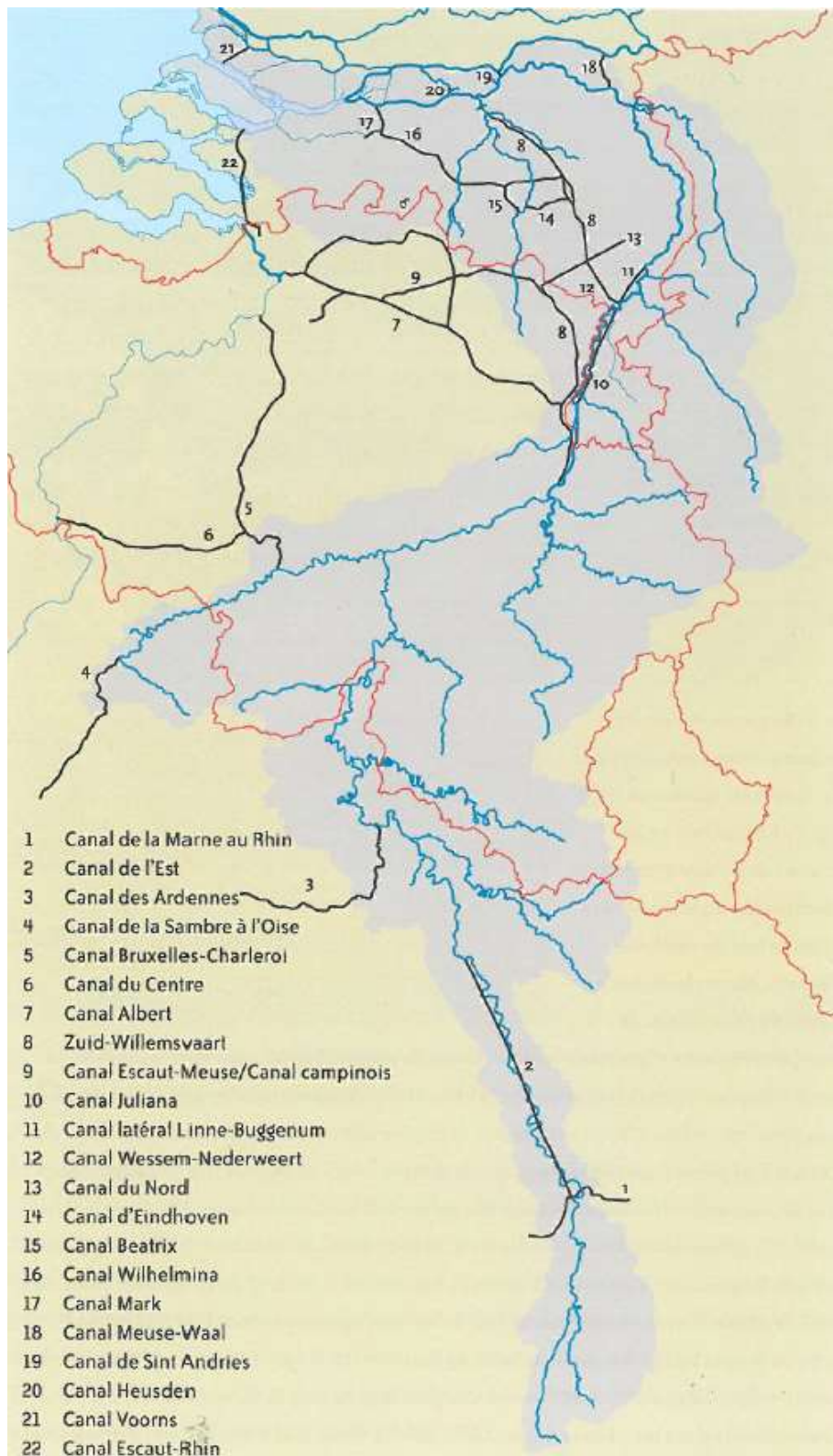


Figure 11 : Canaux dans le bassin de la Meuse (04)

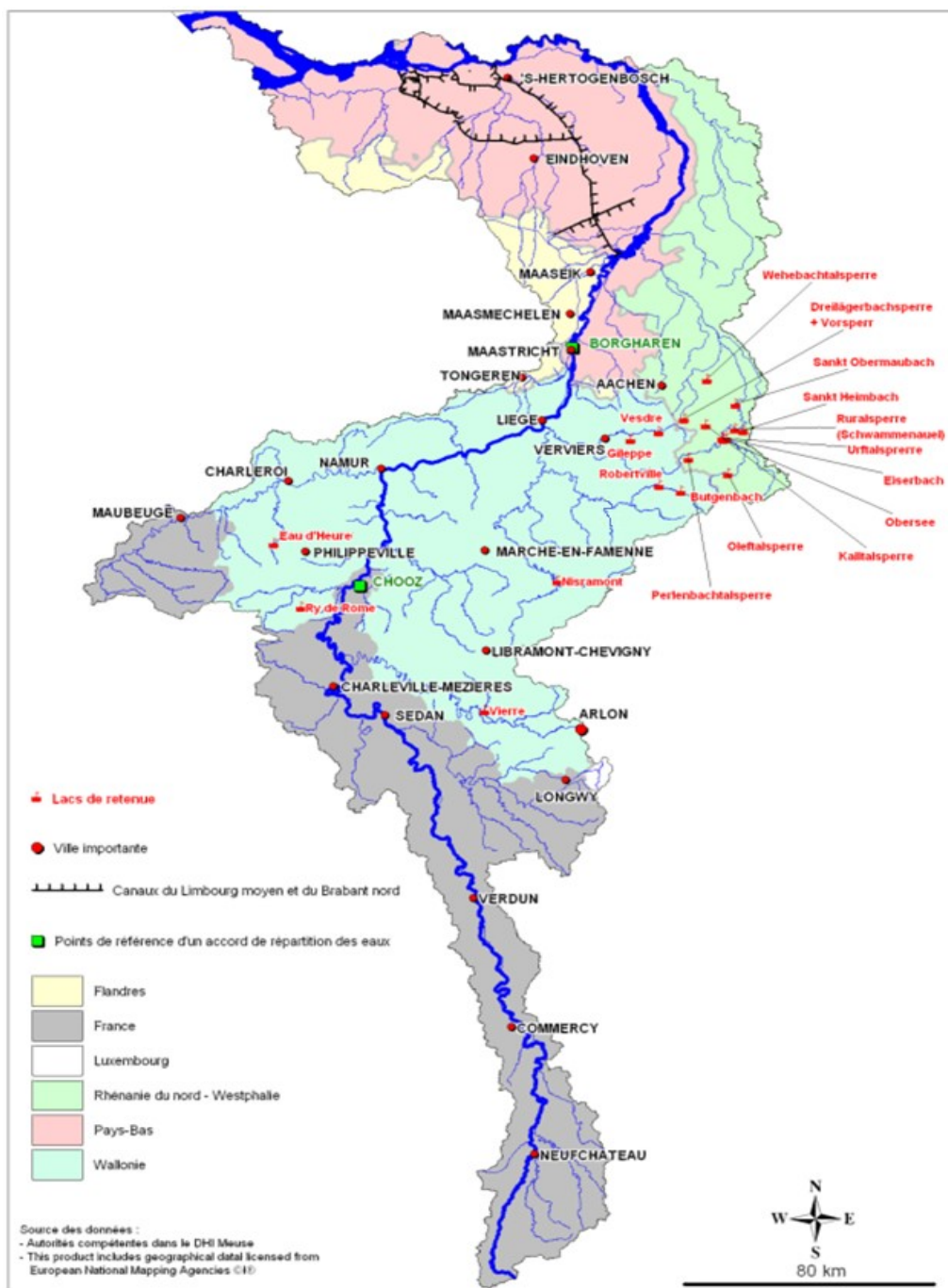


Figure 12 : Principaux barrages réservoirs du bassin hydrographique de la Meuse (source – CIM - rapport de synthèse 2012)

Tableau 2 : Caractéristiques des principaux barrages réservoirs du bassin hydrographique de la Meuse (source – CIM - rapport de synthèse 2012, non publié)

| Barrage | Cours d'eau | Volume de retenue (Mm ³) | Bassin versant (km ²) |
|--|---------------|--------------------------------------|-----------------------------------|
| Barrage de la Gileppe | Gileppe | 26,4 | 54 |
| Barrage de la Vesdre | Vesdre | 25 | 105,95 |
| Barrage de Nisramont | Ourthe | 3 | 740 |
| Barrage du Ry de Rome | Ry de Rome | 2,2 | 10,1 |
| Barrage de l'Eau d'Heure | Eau d'Heure | 14,75 | 79 |
| Barrage de Plate Taille | Plate Taille | 67,8 | 7,6 |
| Barrage de Bütgenbach | Warche | 11 | 72 |
| Barrage de Robertville | Warche | 7,7 | 118 |
| Barrage de La Vierre | La Vierre | 1,3 | 242 |
| Barrage de l'Olef | Olef | 19,3 | 47,4 |
| Barrage de l'Urft | Urft | 45,5 | 373,9 |
| Barrage de la Rur | Rur | 185 | 666,2 |
| avec le pré-barrage Eiserbach (>100.000 m ³ , > 5m) | Rur | 0,3 | 4,2 |
| avec le pré-barrage Obersee (>100.000 m ³ , > 5m) | Rur | 17,8 | 626,2 |
| Barrage Heimbach | Rur | 1,2 | 667,2 |
| Barrage du Obermaubach | Rur | 1,7 | 792,7 |
| Barrage du Wehebach | Wehebach | 25,1 | 43,5 |
| Barrage du Dreilägerbach | Dreilägerbach | 3,7 | 21,7 |
| avec le pré-barrage (>100.000 m ³ , > 5m) | Dreilägerbach | 0,1 | 14,2 |
| Barrage de la Kall | Kallbach | 2,1 | 28,8 |
| Barrage du Perlenbach | Perlenbach | 0,8 | 61,2 |

5. Naturalisation des débits

L'influence des volumes d'eau prélevés ou rejetés sur les débits de la Meuse a été quantifiée. Les débits historiques mesurés sont convertis en débits dits naturels.

On entend par débit naturel le débit qui serait mesuré en l'absence de canaux, prélèvements, rejets et stockage d'eau.

Il est ensuite procédé à une analyse statistique des débits naturels et mesurés de la Meuse dans trois stations de mesure sélectionnées, à savoir Chooz, Liège et Lith-Megen, afin de pouvoir fixer des valeurs seuils statistiques.

5.1 Résultats à la station de Chooz

Cette étude a été effectuée dans le cadre du projet « CHIMERE 21 » relatif à l'Evolution du Régime hydrologique au 21e siècle.

La naturalisation des débits consiste à l'identification des prises d'eau et rejets ayant une influence potentielle sur les débits journaliers aux stations hydrologiques à modéliser (Figure 13).

Il s'agit d'obtenir des chroniques de débits journaliers non influencées utilisées pour le calage des modèles hydrologiques.



Figure 13 : Carte des stations de référence sur le bassin français de la Meuse

• Influences des barrages et réservoirs

Il n'existe pas de grands ouvrages de régulation sur la partie française du bassin de la Meuse.

Quelques barrages-réservoirs sont implantés sur des affluents de la Meuse :

- Barrage sur la Vierre, affluent de la Semois, situé en Belgique (capacité de 1,5 hm³) ; gestion pour la production hydroélectrique ;
- le complexe hydroélectrique de la centrale de Revin Saint Nicolas Les Mazures, sur la Faux (environ 20 hm³ en tout).

Ces barrages sont jugés sans influences significatives en période d'étiage.

• Influences des canaux

Présence de trois canaux (cf. figure 14) :

- canal de l'Est (branche Nord) ;

- canal des Ardennes ;
- canal de la Meuse au Rhin.

Peu de trafic fluvial = 1 à 10 bateaux / jour (T = 350 t max)

Pas de données disponibles en dehors des volumes max prélevés :

- dans la Méholle à Void-Vacon $Q_{max} = 0,75 \text{ m}^3/\text{s}$ (trois pompes de $0.25 \text{ m}^3/\text{s}$)
- dans la Meuse à Troussey $Q_{max} = 1 \text{ m}^3/\text{s}$

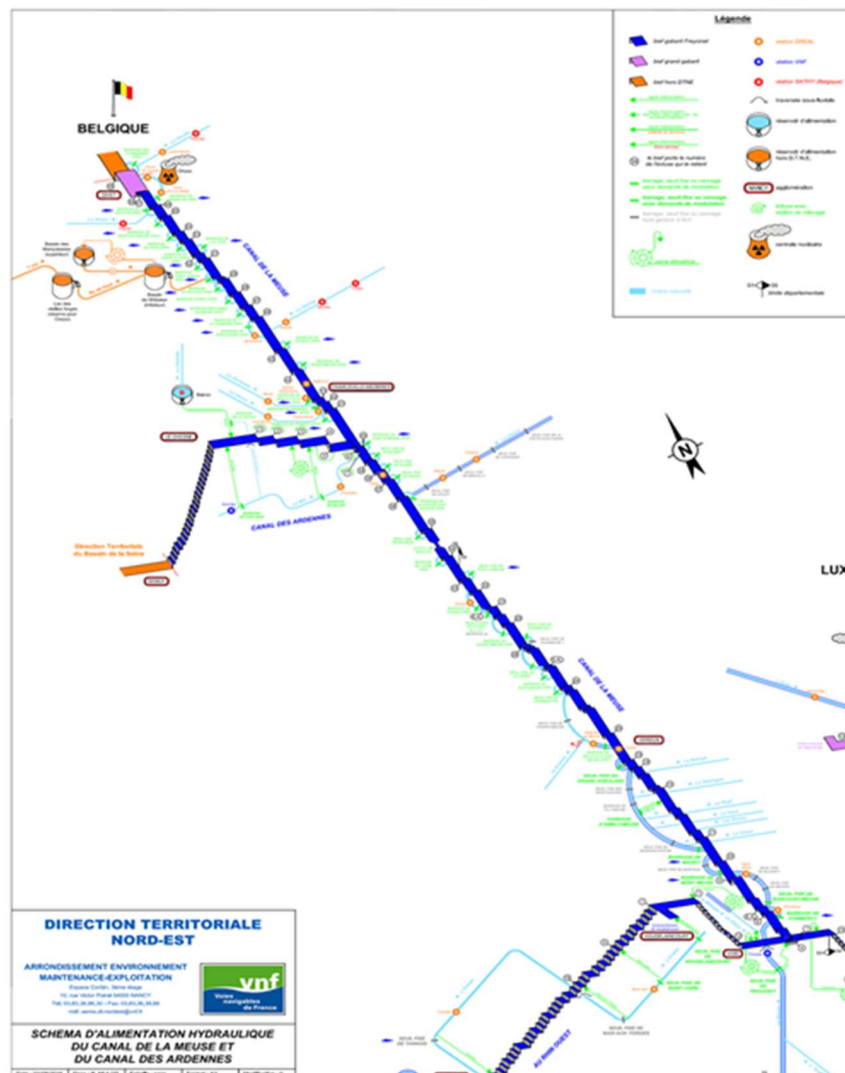


Figure 14 : Schéma d'alimentation hydraulique du canal de la Meuse et du canal des Ardennes

• Influences des exhaures minières

Le bassin de la Meuse a fait l'objet d'une exploitation minière au XIXème et XXème siècle (Figure 15).

Un arrêt progressif des mines a eu lieu du milieu des années 1980 à la fin des années 1990 (Figure 16).

Un retour au fonctionnement normal des aquifères accompagné d'un maintien temporaire des exhaures sur la Crusnes est observé jusqu'au milieu des années 2000.

Valeurs moyennes de soutien d'étiage ou exhaures sur trois cours d'eau : 0.1 m³/s sur la Crusnes, 0.13 m³/s sur l'Othain, 0.2 m³/s sur la Mouline.

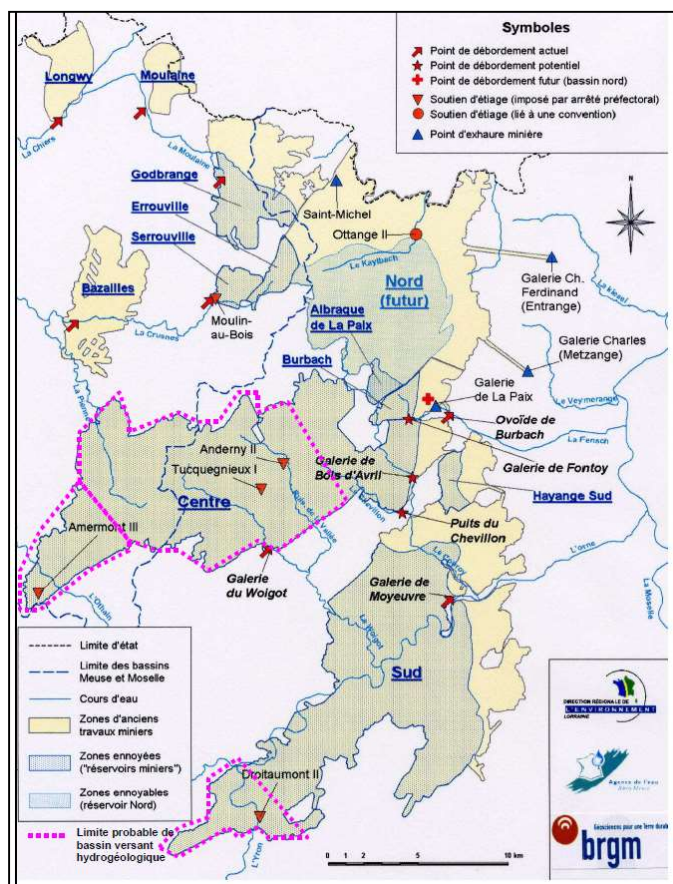


Figure 15 : carte des exhaures minières du Nord-Est de la France

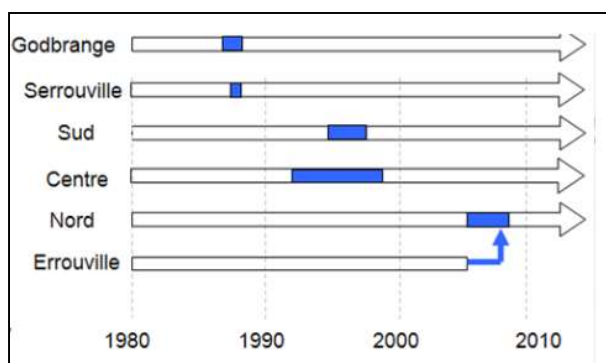


Figure 16 : Périodes d'exhaures minières (en bleu) selon les secteurs (période durant lesquelles l'eau d'infiltration des mines a été pompée et rejetée dans le réseau hydrographique superficiel)

- Influences des prélèvements pour l'eau potable et des stations de traitement des eaux usées urbaines (Tableau 3)

Tableau 3 : Liste des prélèvements en rivière sur le bassin versant français de la Meuse pour l'eau potable

| INS - Nom | UGE - Nom | INS - Débit moyen (m3/j) | INS - Débit moyen (m3/s) |
|--------------------------------|------------------------------------|--------------------------|--------------------------|
| PRISE D'EAU EN MEUSE | CHARLEVILLE MEZIERES | 90 | 0.001 |
| LA HOUILLE - PRISE D'EAU | GIVET | 1200 | 0.014 |
| LA PILETTE RUISSEAU PAS FAUVIN | MONTHERME | 80 | 0.001 |
| RUISSEAU LA FALIGEE | MONTHERME | 520 | 0.006 |
| PRISE D'EAU LA SORMONNE | CHARLEVILLE MEZIERES | 4000 | 0.046 |
| PRISE D'EAU DE MONTMEDY | C.D.C DE L'AGGLOMERATION DE LONGWY | 2000 | 0.023 |
| PRISE D'EAU DU VAIR | SYNDICAT VRAINE ET XAINTOIS | 20 | 0.000 |

• Influences des industries

30 sites industriels sont examinés (données disponibles = volumes prélevés et/ou rejetés annuellement) (Tableau 4).

Tableau 4 : Consommations des principaux sites industriels du bassin français de la Meuse de 2012 à 2014

| Etablissement | Consommation 2012 (m3/s) | Consommation 2013 (m3/s) | Consommation 2014 (m3/s) |
|--|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| LACTO SERUM France SA | -0,03936 | -0,04318 | 0,04155 |
| Fromagerie de l'ermitage | -0,02432 | -0,02553 | -0,02527 |
| Fromagerie Henri Hutin | -0,01409 | -0,0141 | -0,01355 |
| BG | -0,01201 | -0,00879 | -0,01033 |
| Nestlé Waters Supply Est (Vittel) | -0,01185 | -0,01545 | -0,01162 |
| SNC CANELIA ROUVROY POUDRE | -0,00642 | -0,00681 | -0,0074 |
| Ineos Entreprises France SAS | -0,00337 | -0,00415 | -0,00459 |
| Fours à Chaux de Sorcy | -0,00248 | -0,00089 | -0,0012 |
| Union Laitière de la Meuse (ULM) | -0,00239 | -0,00275 | -0,00371 |
| Carrières et Fours à Chaux de Dugny | -0,00225 | -0,00213 | -0,00243 |
| SOLEVAL France - Charny sur Meuse | -0,00201 | -0,00185 | -0,00234 |
| Centre de stockage des déchets d'Eteignières | -0,00147 | -0,00113 | -0,00137 |
| FVM Technologies | -0,00144 | -0,0013 | -0,00142 |
| ARCELOR MITTAL Commercy | -0,00102 | -0,00209 | -0,00214 |
| SCORI EST | -0,00101 | 0,00000 | -0,00087 |
| HANON SYSTEMS CHARLEVILLE SAS | -0,00068 | -0,00086 | -0,00119 |
| Etablissement de Cliron. Dit BRENNTAG ARDENNES | -0,00025 | -0,0002 | 0,00000 |
| Daum | -0,0001 | -0,0033 | -0,00213 |
| ARCAVI-Chalandry-Elaire | -0,00008 | -0,00008 | -0,00007 |
| SAS EUROVITA | -0,00005 | -0,00017 | -0,00008 |
| ACTEGA Rhenacoat SAS | -0,00002 | -0,00001 | -0,00001 |
| FAURECIA | -0,00001 | -0,00001 | -0,00005 |
| ARCELORMITTAL Atlantique et Lorraine MOUZON | 0,00000 | -0,00157 | -0,00098 |
| GESTAMP PRISMA | 0,00000 | 0,00000 | -0,00003 |
| Total | -0,12668 | -0,13635 | -0,05123 |

Les prélèvements pour l'eau potable, les rejets d'eaux usées et les consommations des industries sur le bassin français de la Meuse (hors centrale nucléaire de Chooz) ont une influence très faible sur les débits de la Meuse.

Cela s'explique par une faible densité de population et une activité industrielle très limitée sur le bassin essentiellement agricole (pâturage).

Pour le CNPE de Chooz (centrale nucléaire) les consommations journalières sont estimées à partir des données d'évaporation soit **entre 0,6 et 1,8 m³/s évaporés entre 2011 et 2015 (Figure 17).**

Sa mise en service date de 1996 (Chooz A) et 1997 (Chooz B).

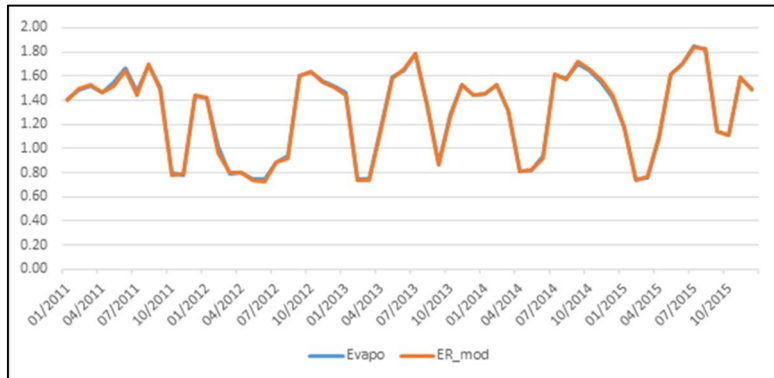


Figure 17 : débit moyen mensuel évaporé par la centrale de Chooz entre 2011 et 2015 (en m³/s)

• Localisation des influences et des stations hydrologiques (Figure 18)

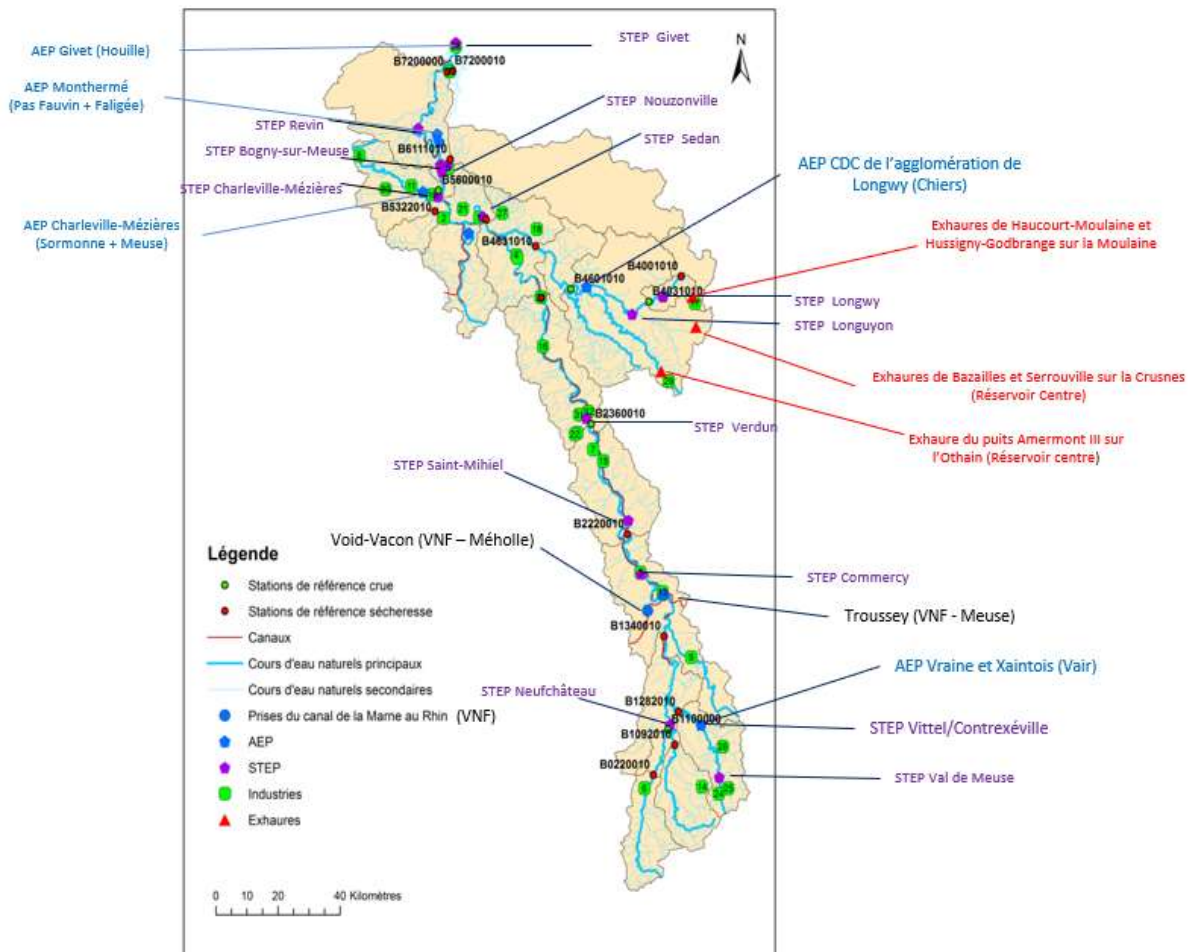


Figure 18 : carte des influences et des stations hydrologiques

• Traitement des influences aux stations (Figure 19)

Pour évaluer l'influence aux stations, des hypothèses sont effectuées :

- volumes annuels répartis uniformément ;
- temps de transfert inférieurs à la journée ;
- somme arithmétique des influences connues (rejets (+) et prélèvements (-)) ;
- les prélèvements en eau potable en nappe sont considérés comme une source d'eau externe au bassin ;
- analyse visuelle des hydrogrammes.

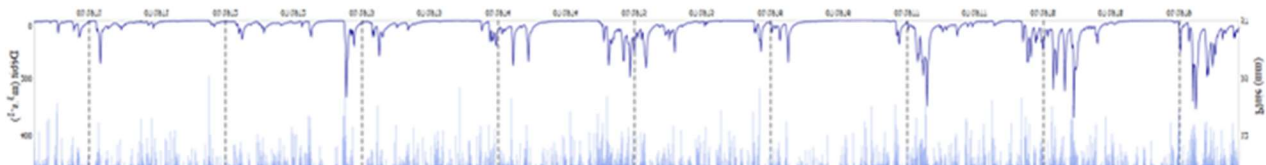


Figure 19 : Débit de la Meuse à Saint-Mihiel

• Résultats

Les informations sont limitées sur les influences (date de démarrage, évolutions, absence de chroniques détaillées sur la période de référence).

De nombreuses stations avec des débits d'étiage très chahutés (problème de courbes de tarage à l'étiage et/ou d'influence de la végétation aquatique sur les hauteurs mesurées).

Calculs à Chooz (1958-2016) (Tableau 5)

Tableau 5 : Résultats du VCN7 mesuré et naturalisé à la station de Chooz

| CHOOZ | VCN7 mesuré | VCN7 naturalisé |
|-----------------|-------------------------|-------------------------|
| VCN7 (T=2 ans) | 27,30 m ³ /s | 27,39 m ³ /s |
| VCN7 (T=5 ans) | 17,06 m ³ /s | 17,10 m ³ /s |
| VCN7 (T=10 ans) | 13,34 m ³ /s | 13,37 m ³ /s |
| VCN7 (T=20 ans) | 10,89 m ³ /s | 10,92 m ³ /s |
| VCN7 (T=50 ans) | 8,67 m ³ /s | 8,68 m ³ /s |

A noter que de 1956 à 2004, les débits utilisés pour le calcul des débits naturalisés sont ceux de la station Chooz-Ile-de-Graviat située à l'aval de la station centrale électronucléaire de Chooz.

Après 2004, les débits utilisés pour le calcul sont ceux de la station Chooz-Trou-Du-Diable située à l'amont de la centrale (Figure 20) construite pour fiabiliser les mesures et donc avant l'influence de la centrale.

L'incidence des prélèvements de la centrale (cf. figure 17) dans le calcul des débits naturalisés est donc prise en compte de 1996 (démarrage de la centrale) à 2004 (changement de station de mesure) soit durant 7 années sur une chronique de mesure de plus de 50 ans ce qui explique les faibles influences observées sur les VCN7 naturalisés.

Conclusion :

le bassin français de la Meuse est essentiellement rural. Il fait l'objet de faibles prélèvements en eau au regard des débits naturels de la Meuse, en amont de la centrale nucléaire de Chooz, ce qui explique les faibles différences entre les débits mesurés à la station de Chooz et ceux naturalisés. Le principal prélèvement dans la Meuse en France se situe au niveau de la centrale nucléaire de Chooz.

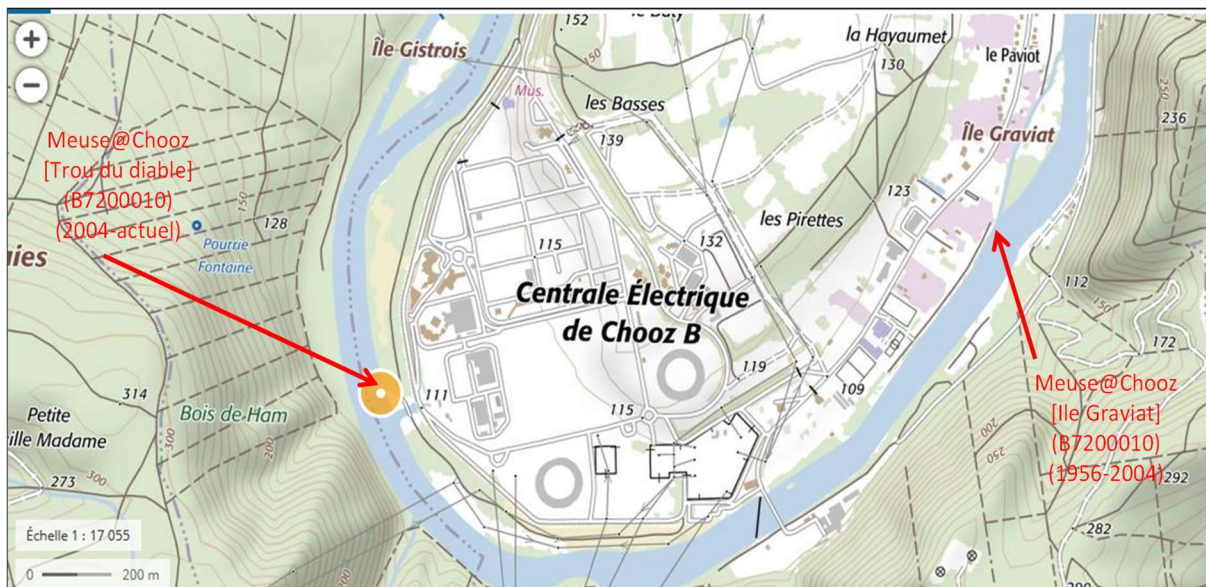


Figure 20 : Localisation des stations de mesure hydrologiques de Chooz

5.2 Résultats à la station de Liège

La naturalisation des débits consiste à l'identification des prises d'eau et rejets ayant une influence potentielle sur les débits journaliers à une station donnée.

Il s'agit d'obtenir une chronique de débits journaliers non influencée utilisée pour calculer les débits extrêmes d'étiage.

Différentes influences ont été recensées sur le débit journalier de la Meuse à Liège :

- Les captages en eau souterraine, en eau de mine et carrière et en eau de surface
- Les prélèvements des centrales nucléaires
- Les pompages pour alimenter les canaux
- Les barrages-réservoirs

Méthodologie utilisée pour reconstituer la série de débits journaliers naturels de la Meuse à Liège

Les données de départ sont les débits journaliers naturalisés de la Meuse à Chooz sur la période du 01/01/2004 au 31/07/2016 auxquels ont été ajoutés :

- les débits journaliers des **affluents** (Houille, Hermeton, Lesse, Molinee, Bocq, Burnot, Sambre, Houyoux, Samson, Mehaigne, Hoyoux et Ourthe) tout en appliquant un rapport de bassin versant.
- les débits journaliers prélevés dans les **captages** en eau souterraine dans le bassin du Bocq, du Hoyoux, de l'Orneau et de la Meuse.
- les débits journaliers prélevés dans les **captages** en eau de mine/carrière (Vedrin et Ligny) et en eau de surface (eau potabilisable de Tailfer)

- des constantes journalières correspondant aux prélèvements des **centrales nucléaires** de Chooz et de Tihange
- les **pompages** journaliers en Sambre qui alimentent le Canal Charleroi-Bruxelles
- la différence entre les débits journaliers retenus dans les **barrages-réservoirs** et les débits journaliers lâchés : Ry de Rome, Eau d'Heure, Vesdre, la Vierre*, la Gileppe*, la Warche* et l'Ourthe* (* en cours)

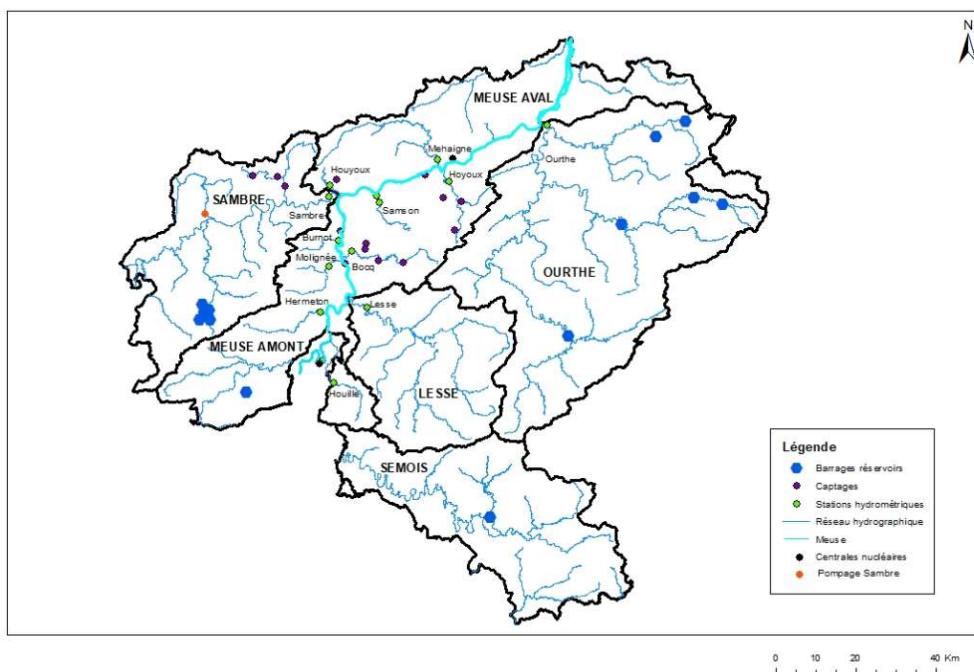


Figure 21 : DHI Meuse – partie wallonne – naturalisation des débits de la Meuse

Premiers résultats (figures 22 à 24)

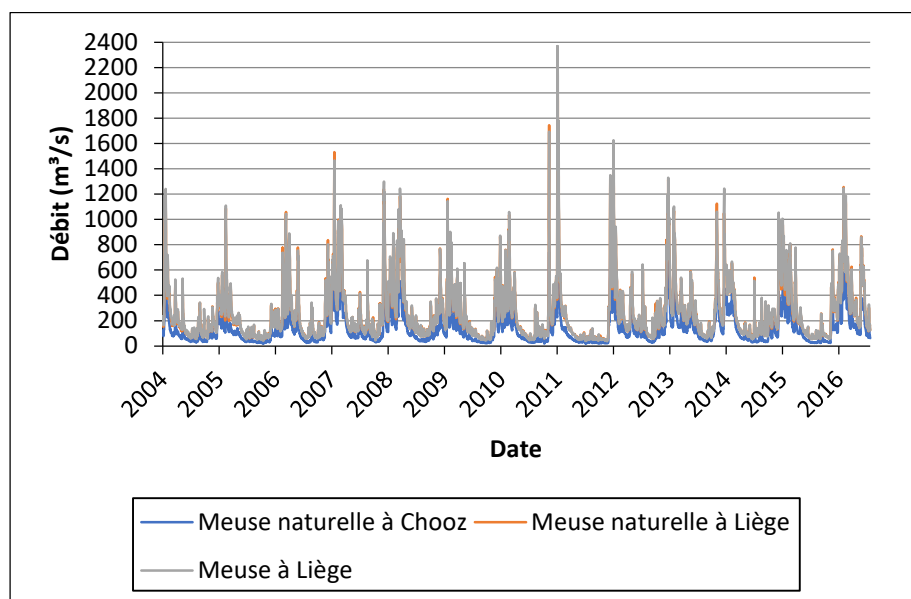


Figure 22 : Débits journaliers de la Meuse (01/01/2004 - 31/07/2016)

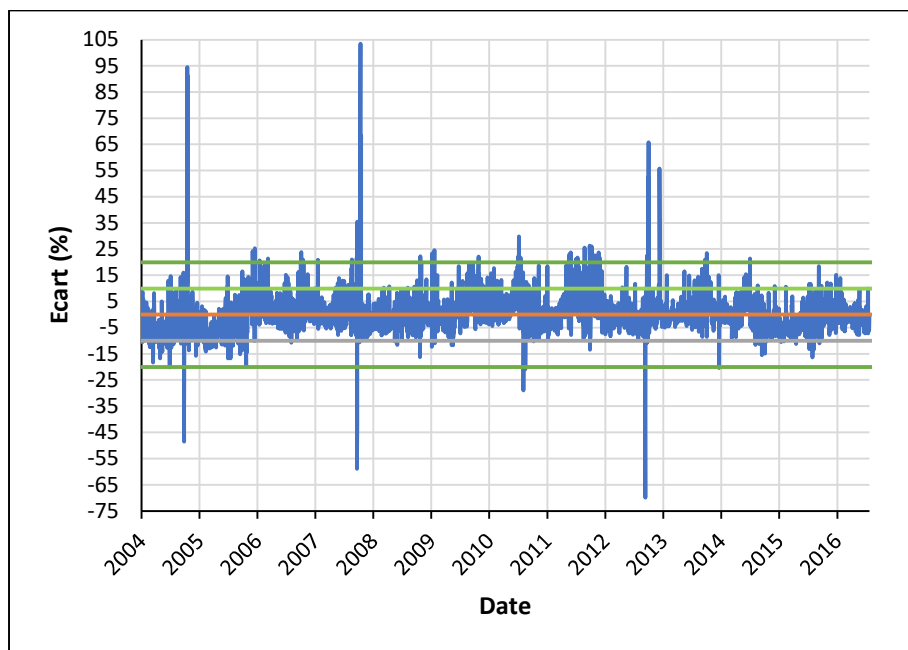


Figure 23 : Ecart (%) entre la série de débits naturels et de débits "mesurés" à Liège (01/01/2004 - 31/07/2016)

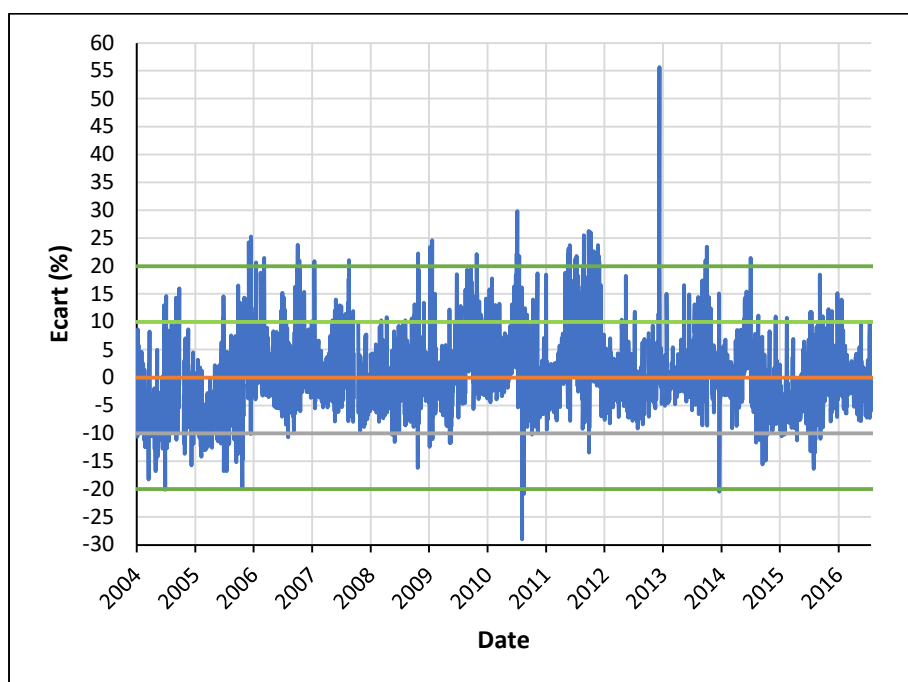


Figure 24 : Ecart (%) entre la série de débits naturels et de débits "mesurés" à Liège (01/01/2004 - 31/07/2016) -Retrait des périodes de chômage de la Meuse

Conclusions et perspectives

La série naturelle reconstituée est proche de la série mesurée car majoritairement comprise entre -10 et +10%. Si l'écart est positif, le débit naturel est supérieur au débit mesuré et inversement, si l'écart est négatif, le débit naturel est inférieur au débit mesuré.

Des écarts cycliques sont observés entre les 2 séries. Une analyse détaillée doit être menée pour en déterminer les causes.

Quelques anomalies ont été détectées essentiellement en période de chômage de Meuse : 26/09/2004, 23/09/2007, 14/10/2007 et 16/09/2012.

Il serait possible d'améliorer la série de débits naturels de la Meuse à Liège en prenant en compte les points suivants :

- la contribution des bassins versants intermédiaires de la Meuse
- les petites prises d'eau ponctuelles non mesurées
- la prise d'eau réelle de la centrale nucléaire de Tihange
- les prélèvements en amont de Liège de la SWDE et de la CILE redistribués en aval de Liège,
- les débits naturels de la Vierre, la Gileppe, la Warche et l'Ourthe en tenant compte de leurs barrages-réservoirs

Les superficies des bassins versants intermédiaires non mesurés de la Meuse représentent moins de 2,5 % de la superficie totale du bassin versant de la Meuse à Liège. Ces apports peuvent donc être considérés comme négligeables.

Des premières statistiques ont été réalisées sur cette série de débits naturels pour déterminer les débits extrêmes d'étiage à comparer avec la série observée (Tableau 6). Malheureusement, la série naturalisée ne permet d'exploiter qu'une période très courte, de 2004 à 2015.

Tableau 6 : Résultats du VCN7 mesuré et naturalisé à la station de Liège (2004-2015)

| LIEGE | VCN7 mesuré | VCN7 naturalisé |
|-----------------|------------------------|------------------------|
| VCN7 (T=2 ans) | 57.3 m ³ /s | 61.1 m ³ /s |
| VCN7 (T=5 ans) | 50.0 m ³ /s | 53.5 m ³ /s |
| VCN7 (T=10 ans) | 46.6 m ³ /s | 49.9 m ³ /s |
| VCN7 (T=20 ans) | 44.0 m ³ /s | 47.2 m ³ /s |
| VCN7 (T=50 ans) | 41.2 m ³ /s | 44.2 m ³ /s |

Attention, il est recommandé de ne pas estimer des débits de période de retour plus de 2 fois supérieure à la longueur de l'historique disponible.

Ces résultats montrent une augmentation des débits extrêmes d'étiage d'environ 7% entre la série observée et la série naturalisée à Liège.

5.3 Résultats à la station de Lith-Megen

La série mesurée à Lith constitue la base de la définition de la série de débits naturels à Lith. Cette série existe depuis 1911. La série mesurée est homogénéisée par rapport à la situation actuelle. Ensuite, tous les prélèvements et rejets en amont sont ajoutés à la série.

Prélèvements/rejets en amont de Lith

1. Ramifications de la Meuse
2. Prélèvements/rejets aux Pays-Bas

N.B. : les prélèvements/rejets en amont de Liège sont pris en compte par les délégations française et wallonne.

5.3.1. Ramifications de la Meuse

La Meuse en aval de Liège se différencie de la Meuse en amont par le fait que l'eau y est divisée entre la Meuse et les canaux flamands et néerlandais : le canal Albert, le Zuid-Willemsvaart et le canal Juliana. La répartition des eaux entre les différentes ramifications est reproduite schématiquement dans la figure présentée ci-dessous. Les canaux sont reliés entre eux, l'ensemble constituant un complexe (Figure 25).

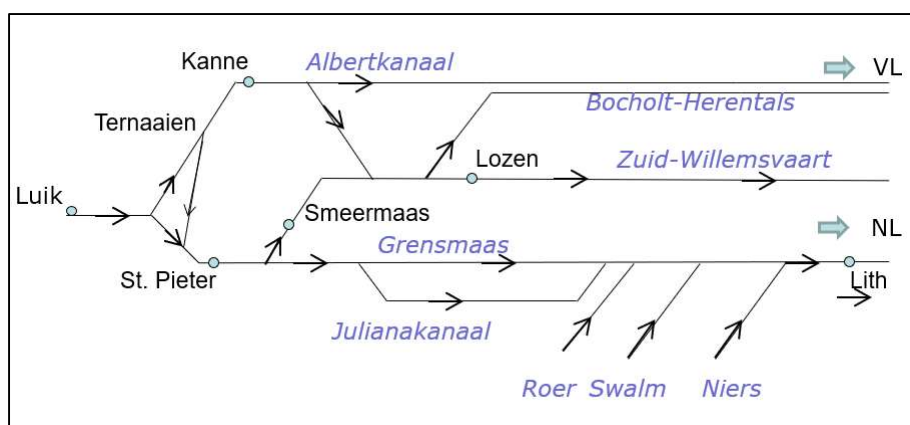


Figure 25 : Schéma des principales connexions et affluents de la Meuse en aval de Liège

Les ramifications suivantes de la Meuse se situent en aval de Liège (figure 26) :

- Le Canal Albert (Flandre) (depuis 1939)
 - coule vers l'Escaut, ne rejoint donc pas la Meuse : reprendre entièrement dans la série naturelle ; débits mesurés à Kanne : maximum $19\text{m}^3/\text{s}$.
- Le Zuid-Willemsvaart (depuis 1826)
 - en partie destiné à la Flandre : coule ensuite vers l'Escaut, ne rejoint donc pas la Meuse
 - en partie destiné aux Pays-Bas : revient en majeure partie dans la Meuse, mais en aval de Lith

C'est pourquoi, il convient d'intégrer entièrement le Zuid-Willemsvaart dans la série naturelle ; débits mesurés à Smeermaas : maximum 13m³/s.



Figure 26 : Composition de la série naturelle Lith

5.3.2. Les prélèvements et les rejets au sein des Pays-Bas

Outre la répartition des eaux entre la Meuse et les canaux, de l'eau est également prélevée à partir de la Meuse et des canaux pour la production d'eau potable, l'industrie, l'agriculture, etc. Il convient de tenir compte de tous ces prélèvements et rejets pour l'établissement de la série des débits naturels. Les prélèvements et rejets sur le territoire des Pays-Bas se composent des catégories suivantes :

- Eau potable et d'industrie (tant des prélèvements que des rejets)

Les données proviennent du Modèle hydrologique national et ont une bonne précision.

Prélèvements :

Industries : 6,4 m³/s

Eau potable : 9,4 m³/s

Rejets : 6,9 m³/s

- Prélèvements agricoles

A la demande de l'agriculture, le Nederlandse Hydrologische Instrumentarium calcule la quantité de précipitations. Les données sont disponibles pour chaque nœud du modèle et ont une précision suffisante.

- Stations d'épuration des eaux usées

Il s'agit uniquement de rejets ; la précision des données est bonne.

- Pertes dues au sassement et aux fuites

Il s'agit de pertes vers l'extérieur du système, par exemple du canal Maas-Waal ; les pertes au sein du système ne sont pas pertinentes. La diminution des pertes au sassement découlant d'un éclusage ou pompage parcimonieux est pris en compte. La précision des données est bonne (Tableau 7).

| Localisation | Débits (m ³ /s) |
|--------------------|----------------------------|
| Canal Meuse – Waal | 2 |
| Wessem-Nederweert | 2,5 – 0,5 |

- Rétention et infiltration

Une rétention/infiltration est constatée en certains endroits :

rétention: (+) 0,1 m³/s

infiltration: (-) 2,9 m³/s

total: (-) 2,8 m³/s

L'eau est utilisée pour compenser l'infiltration : le maintien du niveau de l'eau dans la Meuse et les canaux se situe en tête au niveau de la dégressivité des priorités.

Tableau 7 : Résultats du VCN7 mesuré et naturalisé à la station de Lith-Megen

| LITH-MEGEN | VCN7 mesuré | VCN7 naturalisé |
|-----------------|----------------------|----------------------|
| VCN7 (T=2 ans) | 60 m ³ /s | 82 m ³ /s |
| VCN7 (T=5 ans) | 45 m ³ /s | 69 m ³ /s |
| VCN7 (T=10 ans) | 40m ³ /s | 60 m ³ /s |
| VCN7 (T=20 ans) | 30 m ³ /s | 50 m ³ /s |
| VCN7 (T=50 ans) | 25 m ³ /s | 38 m ³ /s |

Le tableau 7 montre que pour la station de mesure de Lith-Megen la différence entre la série de débits mesurés et reconstitués en cas d'étiage est d'environ 30 %.

5.4 Synthèse

L'écart entre les VCN7 naturalisés et les VCN7 calculés est croissant d'amont en aval ce qui est cohérent avec une augmentation des usages de l'eau d'amont en aval.

Pour 3 stations situées le long de la Meuse, des séries de débits mesurés ont été transposées en séries de débits dits « naturels ». Les séries de débits naturels reflètent une situation dans laquelle l'impact anthropique (entre autres les effets de l'aménagement de canaux, la dérivation de l'eau de la Meuse vers d'autres bassins, l'eau potable et l'usage industriel) est compensé. Les séries naturelles tout comme les séries mesurées ont fait l'objet d'une analyse statistique pour pouvoir déterminer la fréquence des étiages. L'analyse des débits naturels montre que l'usage a augmenté au fil du temps. En outre, la différence en termes absolus entre les débits naturels et les débits mesurés augmente en aval. Les principales causes de cette augmentation sont les prélèvements de l'eau qui ne revient plus dans la Meuse, comme les prélèvements d'eau potable pour les zones extérieures au bassin de la Meuse et la dérivation des eaux de la Meuse vers la Flandre (sur la base du Traité sur les débits conclus entre la Flandre et les Pays-Bas).

Il est important de noter que l'estimation des débits naturels est incertaine étant donné que les données du passé ne peuvent être reconstituées qu'avec peu de précision (évolution des prélèvements dans le temps...).

De plus, en ce qui concerne les résultats de l'analyse statistique il faut garder en tête que plus les périodes de retour sont élevées (ex : $T = 20$ ans ou 50 ans), plus la précision des résultats diminue vu la longueur réduite des séries de mesure.

6. Surveillance de l'étiage au sein de la CIM

6.1 Dispositif (stations, paramètre, fréquence de suivi et classification de la situation)

Le réseau commun actuel de suivi des étiages est constitué par 21 stations de mesure des débits réparties sur le cours principal de la Meuse (10 stations) ou ses affluents (11 stations) (Figure 27).

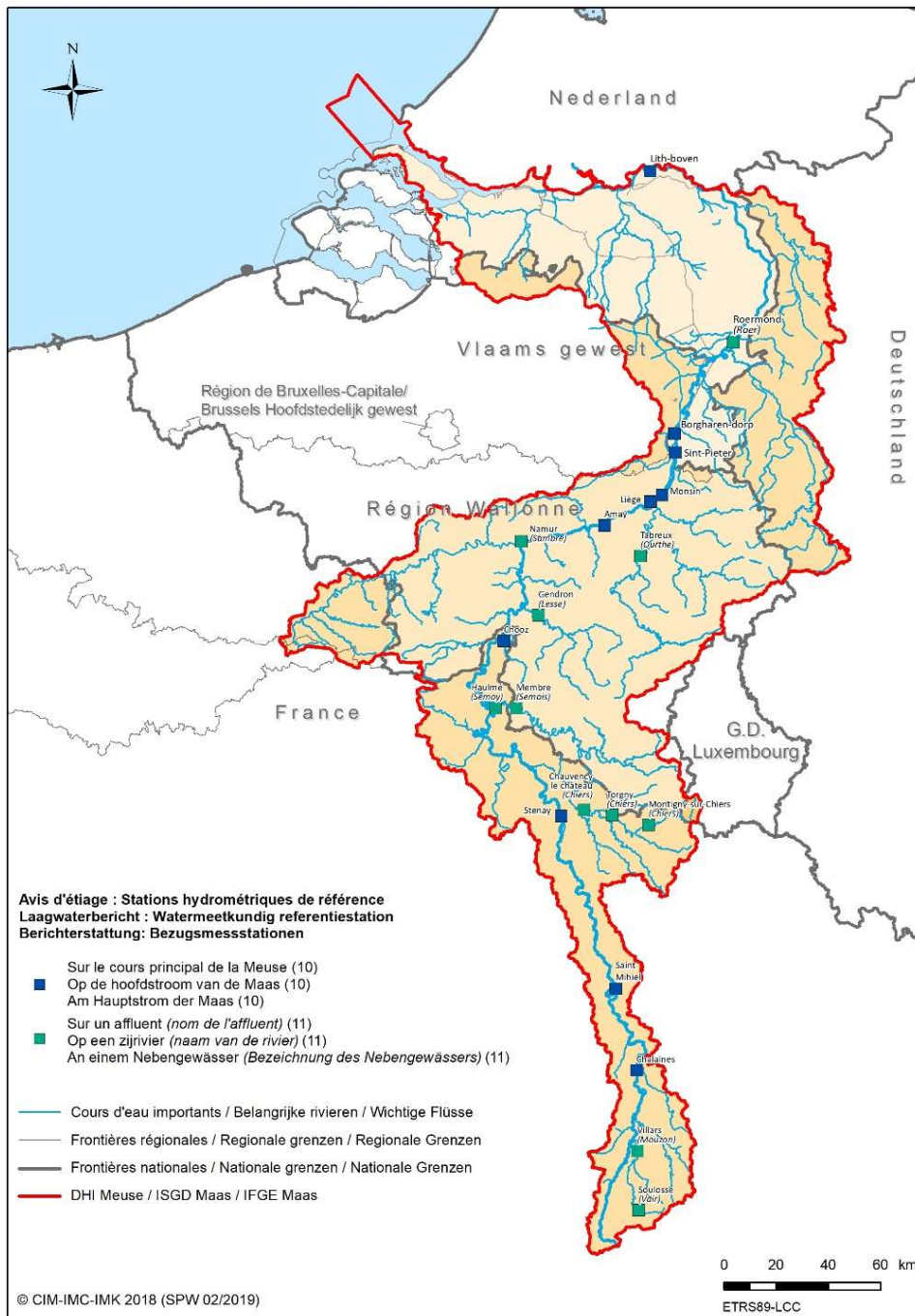


Figure 27 : carte du réseau de suivi en commun du bassin de la Meuse

Le suivi de l'étiage basé sur les débits mesurés est réalisé hebdomadairement de la semaine 23 à la semaine 43 ce qui correspond approximativement à la période s'étalant du mois de juin au mois d'octobre. Cette période peut être étendue en fonction de conditions météorologiques particulières que ce soit avant juin ou après octobre.

Le suivi de l'étiage au sein de la CIM se fait sur la base de la moyenne faite des 7 jours de la semaine écoulée. Cette valeur permet de lisser les fluctuations ponctuelles des débits observées sur les cours d'eau (ouverture ou fermeture de vannes de barrage, rejets, ...).

L'intensité de la situation est ensuite déterminée par semaine calendaire selon une classification en cinq catégories. Comme représentée dans la figure 28, cette classification repose sur les périodes de retour de 2, 5, 10, 20 et 50 ans du VCN7 annuel du VCN7. Celles-ci correspondent aux probabilités annuelles théoriques d'apparition du phénomène avec un franchissement de 50 %, 20 %, 10 %, 5 % et 2 %. Les débits afférents correspondent aux données statistiques des débits mesurés dans le chapitre 5.

| | | | | |
|---------------------------|------------------------------|----------------------------|----------------------------|--------------------------------|
| ETIAGE FRÉQUENT | ETIAGE MOINS FRÉQUENT | ETIAGE RARE | ETIAGE TRÈS RARE | ETIAGE EXTRÊMEMENT RARE |
| VCN7 T = 2 ans | VCN7 T = 5 ans | VCN7 T = 10 ans | VCN7 T = 20 ans | VCN7 T = 50 ans |

Figure 28 : Valeurs seuils de débit utilisées pour qualifier l'intensité de l'étiage

6.2 Résultats disponibles aux principales stations de suivi

Dans ce paragraphe seront présentées les analyses des débits de la Meuse rencontrés dans le passé aux trois stations hydrologiques suivantes :

- Chooz,
- Liège,
- Lith-Megen.

Le choix de ces stations permet de rendre compte pour une même période temporelle de l'évolution spatiale de l'étiage le long du cours de la Meuse et de voir le cas échéant les effets des accords bilatéraux de répartition des eaux qui existent dans le bassin (cf. chapitre 9.2).

La 1ère analyse des étiages qui se sont produits sur la Meuse consiste à représenter graphiquement les VCN7 calculés pour chaque année calendaire sur l'ensemble de la chronique de débits disponible et de les comparer aux périodes de retour de 2, 5, 10, 20 et 50 ans (cf. figures 29 et 30).

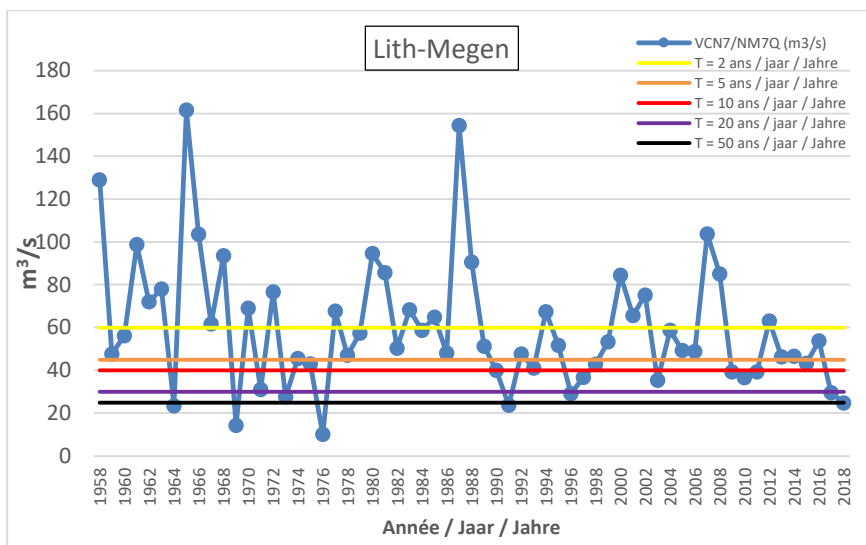
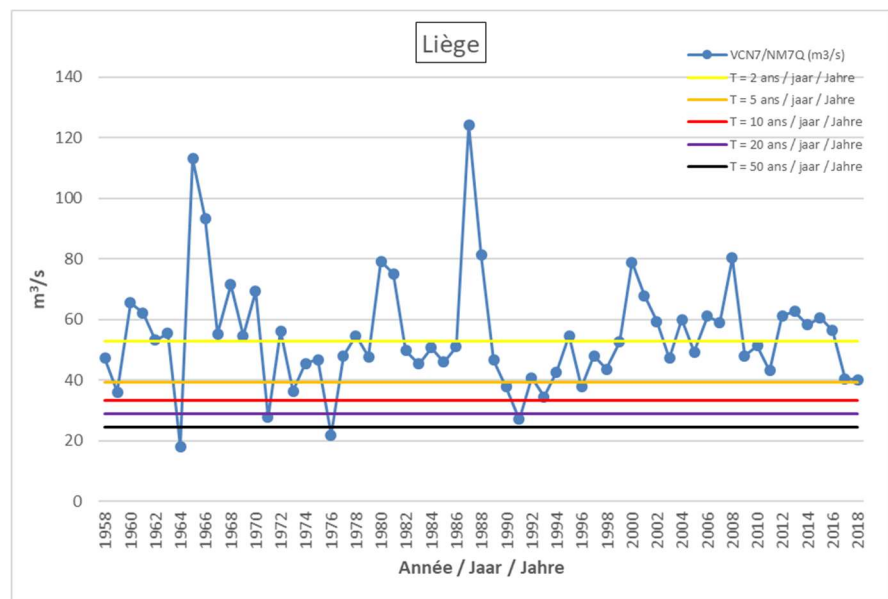
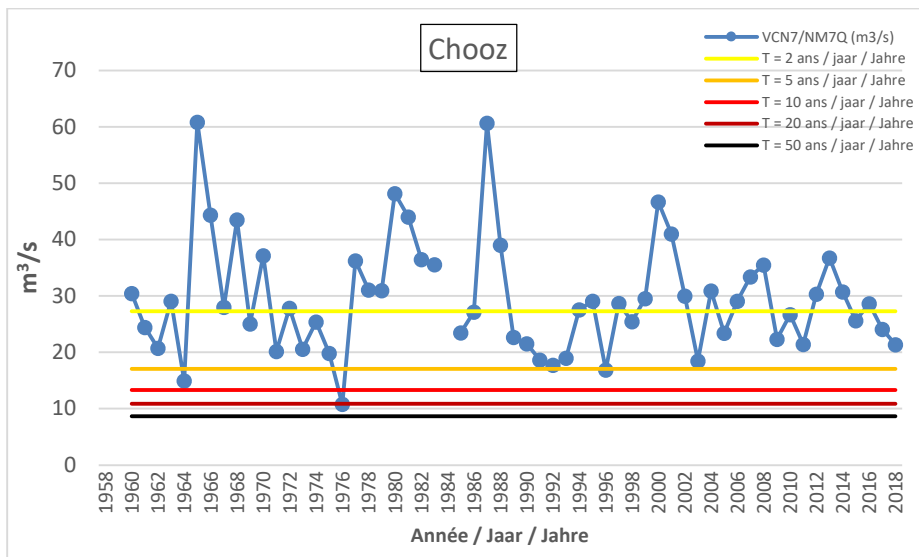


Figure 29 : Comparaison des VCN7 annuels aux temps de retour de 2, 5, 10, 20 et 50 ans pour les stations de Chooz, Liège et Lith-Megen (1958-2018)

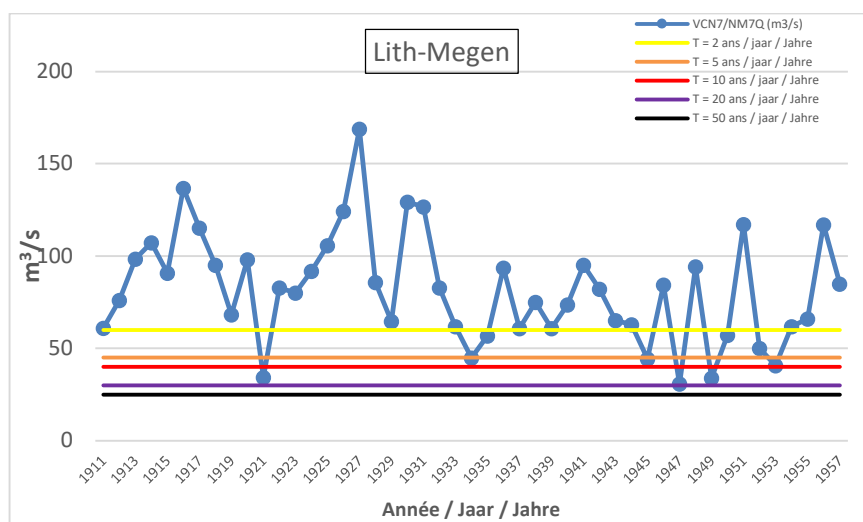


Figure 30 : Comparaison des VCN7 annuels aux temps de retour de 2, 5, 10, 20 et 50 ans pour la station de Lith-Megen (1911-1957)

Cette 1ère analyse n'est toutefois pas suffisante pour caractériser la gravité d'un étiage et ses conséquences négatives potentielles sur les écosystèmes aquatiques et les usages.

Si l'on part de l'hypothèse que pour une valeur seuil donnée, les conséquences négatives potentielles de l'étiage sont d'autant plus importantes que la durée de franchissement est longue, il est alors nécessaire de pouvoir caractériser (figure 31) :

- le nombre total de jours dans l'année civile où le M7Q calculé pour chaque jour calendaire a été inférieur à un seuil donné (paramètre SumD),
- le nombre maximal de jours consécutifs dans l'année où le M7Q calculé pour chaque jour calendaire a été inférieur à un seuil donné (paramètre MaxD).

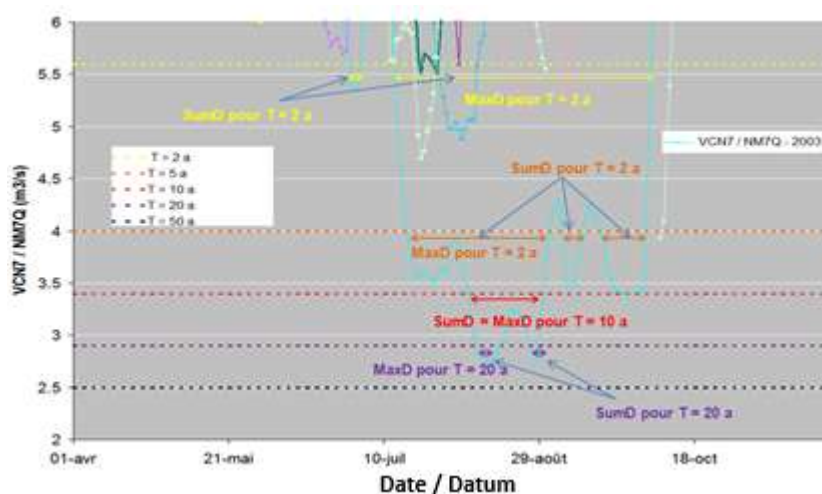


Figure 31 : Exemple de calcul pour une station hydrologique donnée et pour l'année d'étiage de 2003 des paramètres SumD et MaxD associés au franchissement des valeurs du VCN7 annuel pour les temps de retour de 2, 5, 10, 20 ans

Les paramètres SumD et MaxD sont représentés sous la forme d'histogrammes annuels où apparaissent chacune des cinq catégories d'étiage définies au chapitre 6.1. (figures 32 et 33).

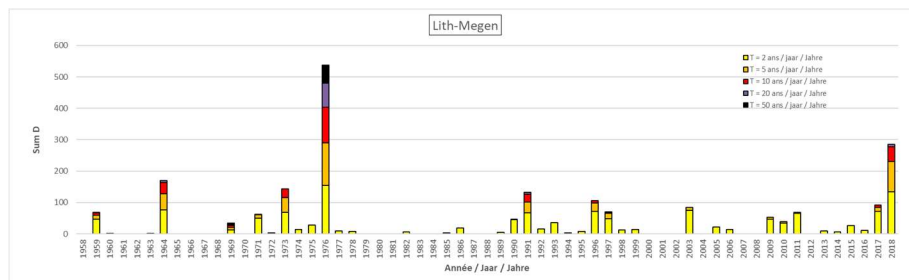
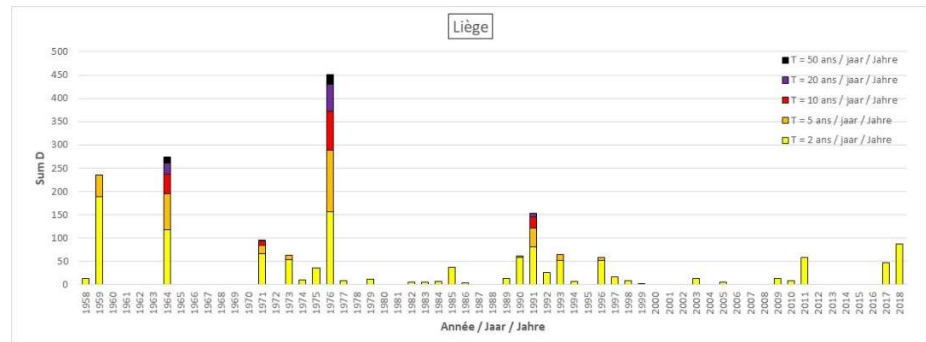
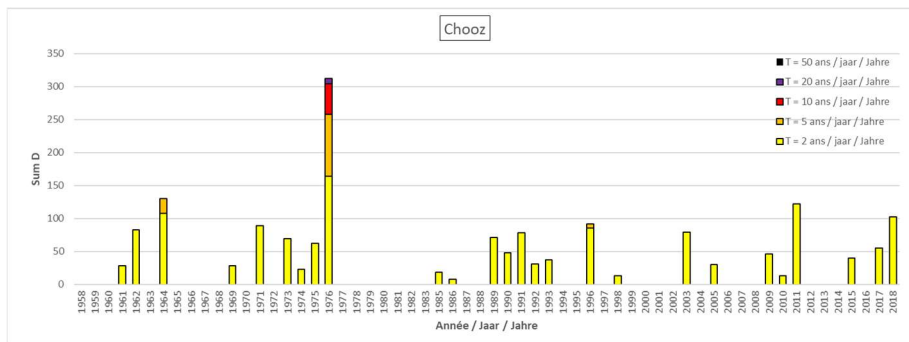


Figure 32 : nombre total de jours où le M7Q calculé pour chaque jour calendaire a été inférieur à un seuil donné (paramètre SumD) pour les temps de retour de 2, 5, 10, 20 et 50 ans – stations de Chooz, Liège et Lith-Megen (1958-2018)

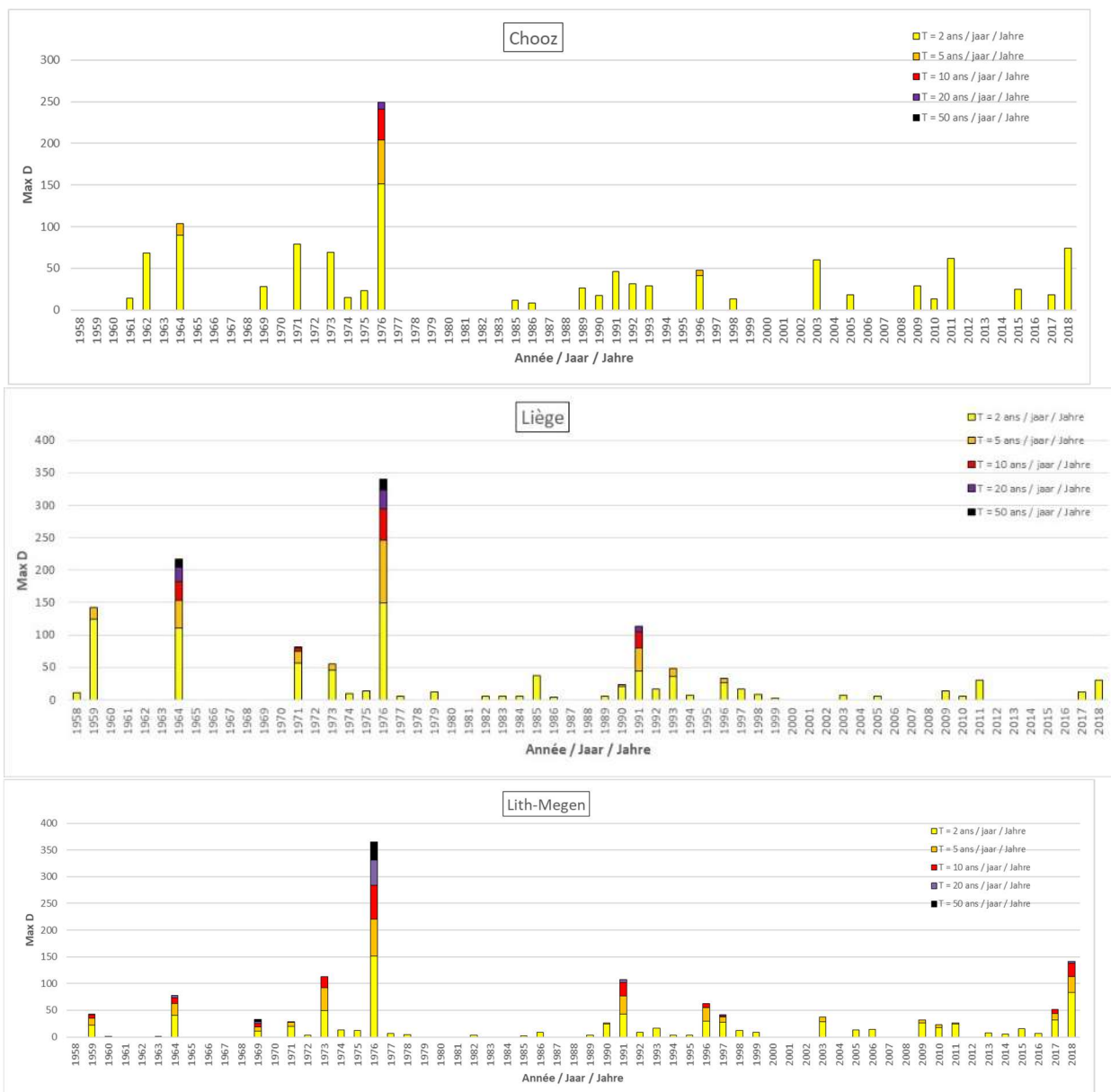


Figure 33 : nombre maximal de jours consécutifs dans l'année où le M7Q calculé pour chaque jour calendaire a été inférieur à un seuil donné (paramètre MaxD) pour les temps de retour de 2, 5, 10, 20 et 50 ans – stations de Chooz, Liège et Lith-Megen (1958-2018)

Afin de pouvoir disposer d'une vision globale à l'échelle du bassin de la Meuse, les résultats obtenus pour les 3 stations sont regroupés dans un même graphique par périodes de 20 années. Pour chaque année, les histogrammes de chaque station sont représentés côte à côte d'amont en aval en utilisant des hachures ou des points à l'intérieur des blocs de couleur associés à chaque catégorie d'étiage de façon à pouvoir distinguer chacun des points de mesure du débit (figures 34 à 39).

Dans les graphiques suivants, les histogrammes peuvent dépasser le nombre de jour calendaires soit 365 jours pour une année donnée car les valeurs de Sum(D) se cumulent par période de retour.

Exemple : En 1976 (figure 34), le nombre de jours où le VCN7 a été inférieur au seuil correspondant à un temps de retour de 20 ans (= Sum(D) pour T = 20 ans en violet sur le graphe) est aussi inclus dans le calcul du Sum(D) pour T = 10 ans (en rouge) mais également dans celui du Sum(D) pour T = 5 ans (en orange) et du Sum(D) pour T = 2 ans (en jaune).

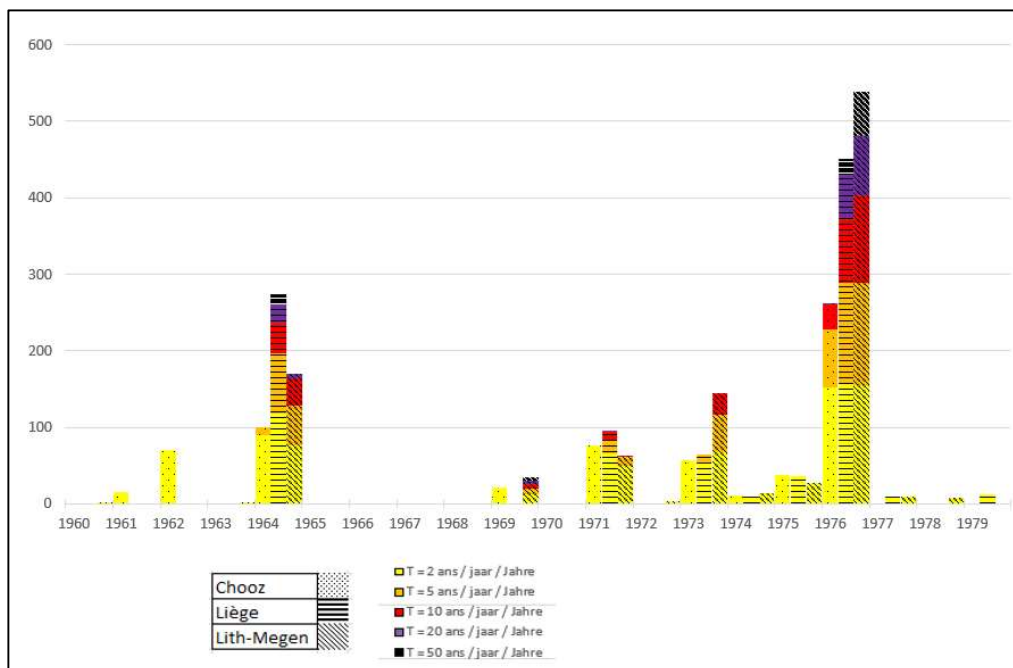


Figure 34 : nombre total de jours où le M7Q calculé pour chaque jour calendaire a été inférieur à un seuil donné (paramètre SumD) pour les temps de retour de 2, 5, 10, 20 et 50 ans pour les stations de Chooz, Liège et Lith-Megen de 1960 à 1979

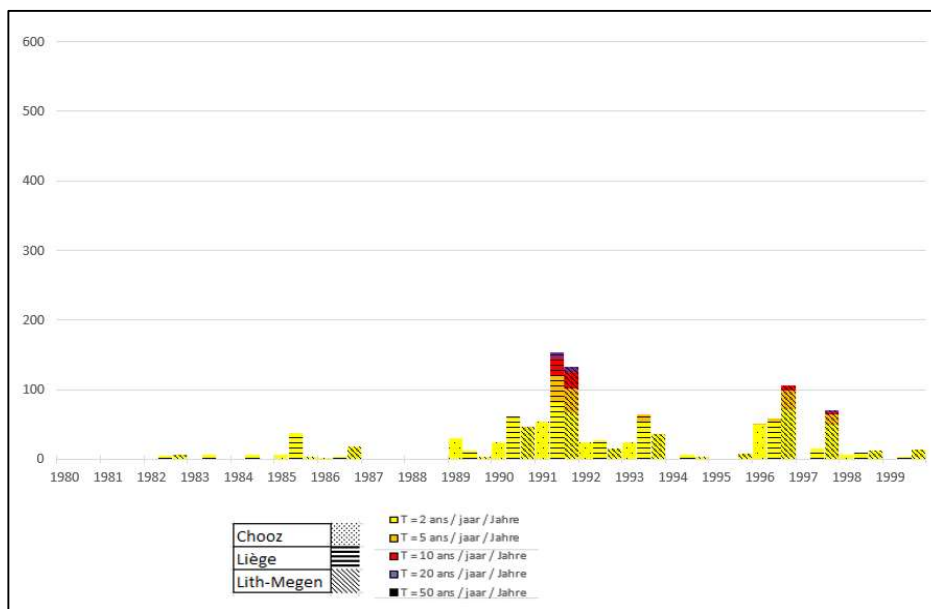


Figure 35 : nombre total de jours où le M7Q calculé pour chaque jour calendaire a été inférieur à un seuil donné (paramètre SumD) pour les temps de retour de 2, 5, 10, 20 et 50 ans pour les stations de Chooz, Liège et Lith-Megen de 1980 à 1999

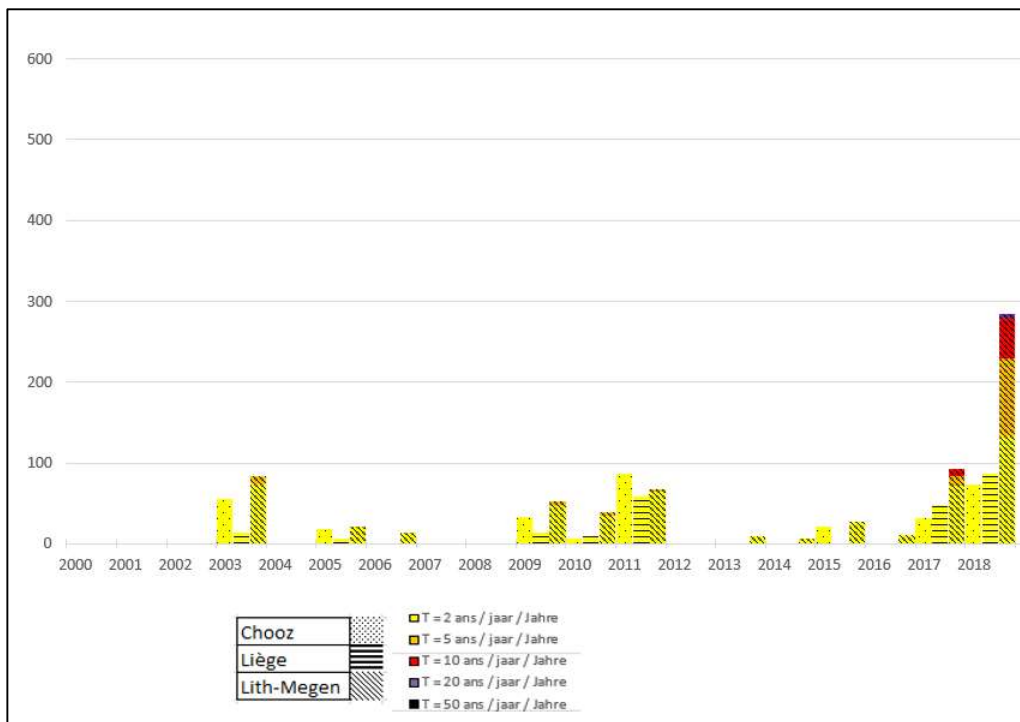


Figure 36 : nombre total de jours où le M7Q calculé pour chaque jour calendaire a été inférieur à un seuil donné (paramètre SumD) pour les temps de retour de 2, 5, 10, 20 et 50 ans pour les stations de Chooz, Liège et Lith-Megen de 2000 à 2018

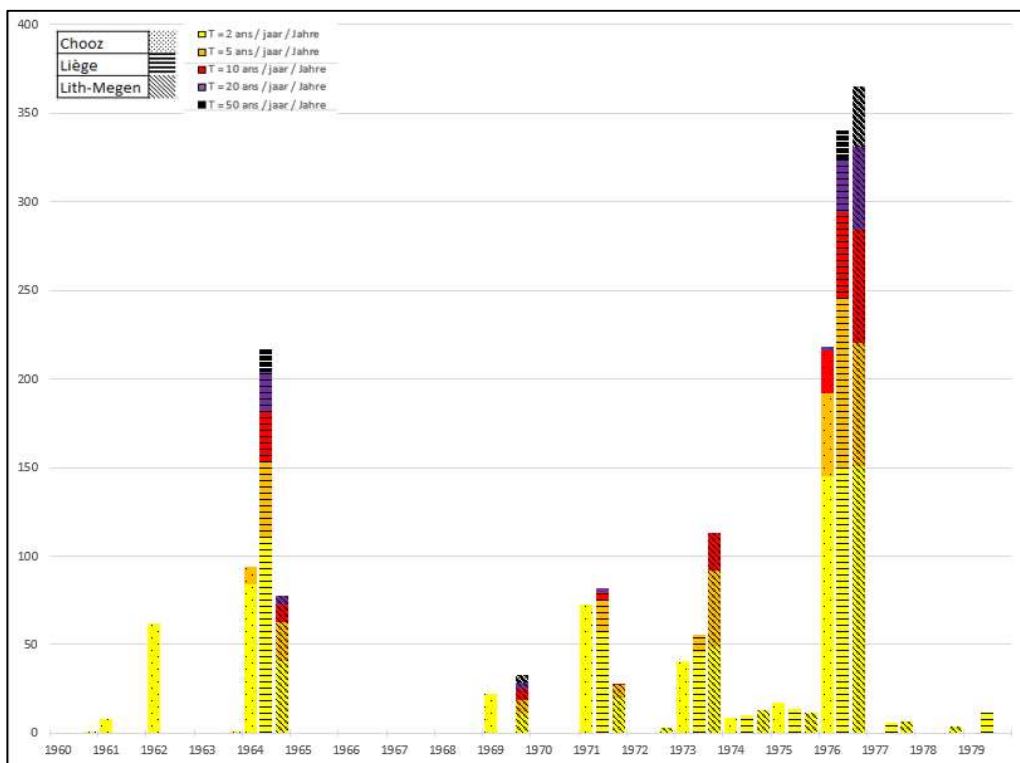


Figure 37 : nombre maximal de jours consécutifs dans l'année où le M7Q calculé pour chaque jour calendaire a été inférieur à un seuil donné (paramètre MaxD) pour les temps de retour de 2, 5, 10, 20 et 50 ans pour les stations de Chooz, Liège et Lith-Megen de 1960 à 1979

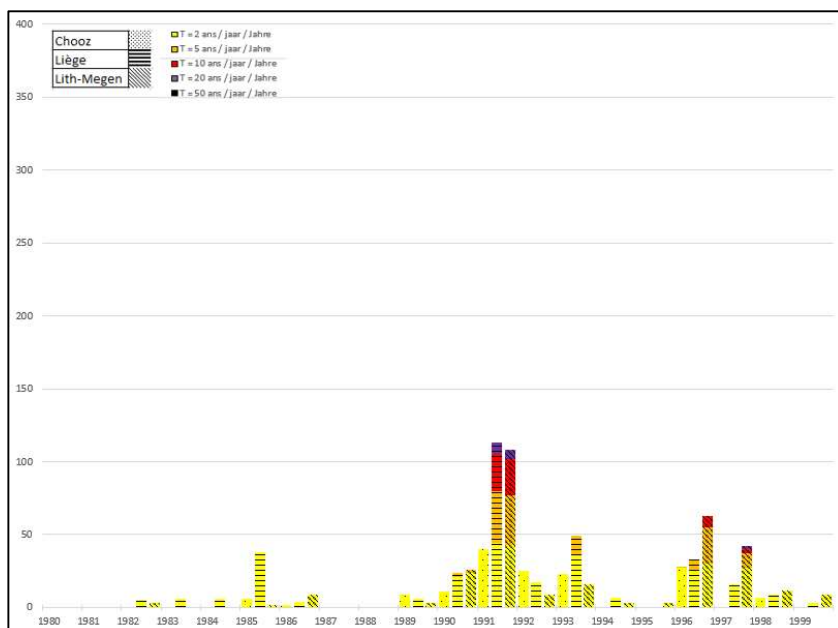


Figure 38 : nombre maximal de jours consécutifs dans l'année où le M7Q calculé pour chaque jour calendaire a été inférieur à un seuil donné (paramètre MaxD) pour les temps de retour de 2, 5, 10, 20 et 50 ans pour les stations de Chooz, Liège et Lith-Megen de 1980 à 1999

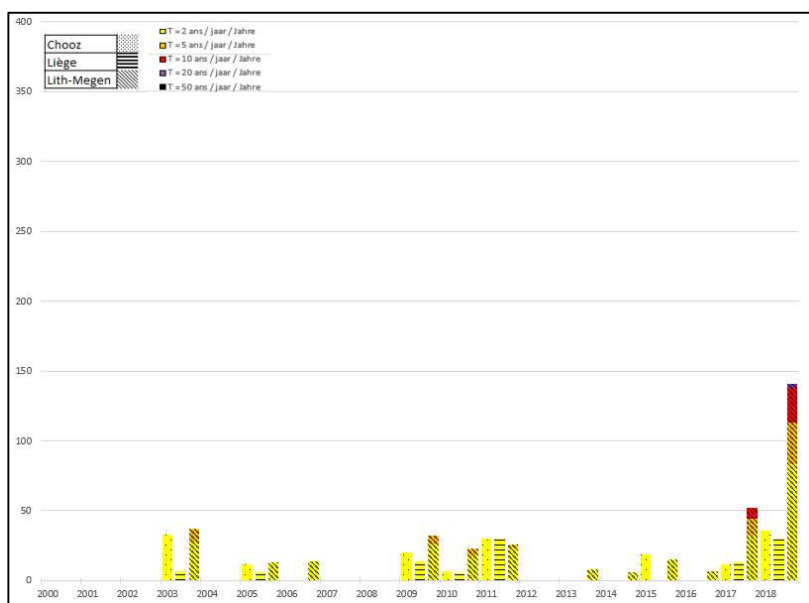


Figure 39 : nombre maximal de jours consécutifs dans l'année où le M7Q calculé pour chaque jour calendaire a été inférieur à un seuil donné (paramètre MaxD) pour les temps de retour de 2, 5, 10, 20 et 50 ans pour les stations de Chooz, Liège et Lith-Megen de 2000 à 2018

Il a été tenté de présenter des séries de mesure les plus longues possible. Malheureusement, les séries disponibles pour les trois stations ne couvrent pas toutes la même période. La série commence en 1911 pour le site de mesure de Lith-Megen, en 1958 pour le site de Liège et en 1960 pour celui de Chooz. La période commune commence donc en 1960. Les résultats obtenus peuvent être mis en relation avec les résultats de suivi des paramètres physico-chimiques et biologiques disponibles aux stations du réseau de mesure homogène de la CIM décrit au chapitre 7. Une comparaison avec les résultats de suivi de l'état chimique et écologique des eaux de surface dans le cadre de la DCE est possible pour la période 2000 à 2018.

6.3 Synthèse

Afin de pouvoir disposer d'une vision synthétique des étiages rencontrés dans le passé, les tableaux suivants sont produits pour les stations choisies :

- un tableau récapitulant la moyenne sur plusieurs années du VCN7 annuel pour l'ensemble de la chronique ainsi que les valeurs du VCN7 annuel associé aux périodes de retour de 2, 5, 10, 20 et 50 ans (cf. tableau 8),
- un tableau récapitulant les valeurs des paramètres SumD et MaxD pour les 5 étiages les plus importants (cf. tableaux de 9 à 11).

Tableau 8 : moyenne interannuelle du VCN7 pour l'ensemble de la chronique et valeurs du VCN7 annuel associé aux périodes de retour de 2, 5, 10, 20 et 50 ans pour les stations de Chooz, Liège et Lith-Megen

| Station de mesure | Moy. interannuel du VCN7 | Période | VCN7 T = 2 a. | VCN7 T = 5 a. | VCN7 T = 10 a. | VCN7 T = 20 a. | VCN7 T = 50 a. |
|-------------------|--------------------------|-----------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|
| Chooz | 29,47 m ³ /s | 1960-2018 | 27,30 m ³ /s | 17,06 m ³ /s | 13,34 m ³ /s | 10,89 m ³ /s | 8,67 m ³ /s |
| Liège | 54,6 m ³ /s | 1958-2018 | 52,9 m ³ /s | 39,4 m ³ /s | 33,3 m ³ /s | 28,9 m ³ /s | 24,4 m ³ /s |
| Lith-Megen | 69,2 m ³ /s | 1911-2018 | 60 m ³ /s | 45 m ³ /s | 40 m ³ /s | 30 m ³ /s | 25 m ³ /s |

Tableau 9 : durées de dépassement des valeurs du VCN7 annuel associé aux périodes de retour de 2, 5, 10 et 20 ans pour la station de Chooz

| Année | VCN7 m ³ /s | T = 2 a. | | T = 5 a. | | T = 10 a. | | T = 20 a. | | T = 50 a. | |
|-------|------------------------|----------|----------|----------|----------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|----------|
| | | SumD (j) | MaxD (j) | SumD (j) | MaxD (j) | SumD (j) | MaxD (j) | SumD (j) | MaxD (j) | SumD (j) | MaxD (j) |
| 1964 | 14,96 | 90 | 84 | 10 | 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1976 | 10,80 | 152 | 145 | 76 | 47 | 32 | 24 | 2 | 2 | 0 | 0 |
| 1992 | 17,73 | 25 | 25 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1996 | 16,90 | 49 | 27 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2003 | 18,47 | 56 | 33 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Tableau 10 : durées de dépassement des valeurs du VCN7 annuel associé aux périodes de retour de 2, 5, 10 et 20 ans pour la station de Liège

| Année | VCN7 m ³ /s | T = 2 a. | | T = 5 a. | | T = 10 a. | | T = 20 a. | | T = 50 a. | |
|-------|------------------------|----------|----------|----------|----------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|----------|
| | | SumD (j) | MaxD (j) | SumD (j) | MaxD (j) | SumD (j) | MaxD (j) | SumD (j) | MaxD (j) | SumD (j) | MaxD (j) |
| 1964 | 18,1 | 118 | 110 | 78 | 43 | 41 | 29 | 24 | 22 | 13 | 13 |
| 1971 | 27,6 | 66 | 57 | 18 | 18 | 10 | 5 | 2 | 2 | 0 | 0 |
| 1976 | 21,8 | 157 | 149 | 132 | 97 | 83 | 48 | 58 | 30 | 21 | 16 |
| 1991 | 27,0 | 81 | 44 | 40 | 36 | 25 | 25 | 8 | 8 | 0 | 0 |
| 1993 | 34,5 | 52 | 36 | 13 | 13 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Tableau 11 : durées de dépassement des valeurs du VCN7 annuel associé aux périodes de retour de 2, 5, 10 et 20 ans pour la station de Lith-Megen

| Année | VCN7 m ³ /s | T = 2 a. | | T = 5 a. | | T = 10 a. | | T = 20 a. | | T = 50 a. | |
|-------|------------------------|----------|----------|----------|----------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|----------|
| | | SumD (j) | MaxD (j) | SumD (j) | MaxD (j) | SumD (j) | MaxD (j) | SumD (j) | MaxD (j) | SumD (j) | MaxD (j) |
| 1964 | 23,4 | 76 | 41 | 52 | 22 | 36 | 10 | 6 | 5 | 0 | 0 |
| 1969 | 14,3 | 12 | 11 | 8 | 8 | 6 | 6 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| 1976 | 10,0 | 155 | 151 | 134 | 69 | 115 | 64 | 76 | 47 | 58 | 34 |
| 1991 | 23,7 | 67 | 43 | 34 | 34 | 25 | 25 | 7 | 6 | 0 | 0 |
| 2018 | 24,7 | 134 | 83 | 96 | 30 | 48 | 25 | 7 | 3 | 0 | 0 |

Tableau 12 : tableau récapitulatif des deux étiages les plus importants communs pour les stations de Chooz, Liège et Lith-Megen

| | VCN7/ NM7Q (m ³ /s) | T = 2 ans / jaar | | T = 5 ans / jaar | | T = 10 ans / jaar | | T = 20 ans / jaar | | T = 50 ans / jaar | |
|-------------|--------------------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| | | SumD (j) / SumD (d) | MaxD (j) / MaxD (d) | SumD (j) / SumD (d) | MaxD (j) / MaxD (d) | SumD (j) / SumD (d) | MaxD (j) / MaxD (d) | SumD (j) / SumD (d) | MaxD (j) / MaxD (d) | SumD (j) / SumD (d) | MaxD (j) / MaxD (d) |
| 1964 | | | | | | | | | | | |
| Chooz | 15,0 | 108 | 90 | 22 | 14 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Liège | 18,1 | 118 | 110 | 78 | 43 | 41 | 29 | 24 | 22 | 13 | 13 |
| Lith Megen | 23,4 | 76 | 41 | 52 | 22 | 36 | 10 | 6 | 5 | 0 | 0 |
| 1976 | | | | | | | | | | | |
| Chooz | 10,8 | 164 | 151 | 94 | 53 | 46 | 37 | 8 | 8 | 0 | 0 |
| Liège | 21,8 | 157 | 149 | 132 | 97 | 83 | 48 | 58 | 30 | 21 | 16 |
| Lith Megen | 10,0 | 155 | 151 | 134 | 69 | 115 | 64 | 76 | 47 | 58 | 34 |

Sur la période 1960-2018 l'analyse pour les 3 stations de Chooz, Liège et Lith-Megen révèle que les étiages les plus importants sur l'ensemble du bassin de la Meuse ont eu lieu en 1964 et 1976⁶. Cependant, on constate depuis quelques années une augmentation de la fréquence des étiages.

⁶ Pour la station de Lith-Megen, 2018 était aussi une importante situation d'étiage.

7. Impact des étiages sur l'état des masses d'eau de surface aux frontières

L'étiage est une période habituelle du cycle hydrologique naturel des cours d'eau (cf. chapitre 4). Le fonctionnement biologique et les équilibres écologiques se sont construits avec cette contrainte. Les organismes aquatiques ont notamment développé des stratégies d'adaptation pour résister à ces périodes de stress. Ainsi, ce sont non seulement les poissons, mais également les macroinvertébrés qui migrent vers les embouchures des affluents. Les poissons profitent de conditions hydrologiques favorables pour migrer et attendent la fin des phases défavorables.

Néanmoins, les pressions exercées par les activités humaines peuvent accentuer ce stress et mettre en péril les équilibres naturels (cf. figure 40) :

- Par diminution des débits disponibles dans les cours d'eau ou allongement de la durée des étiages, de manière directe (prélèvements) ou indirecte (changements climatiques à long terme),
- Par le biais des rejets dont les impacts peuvent être accrus en période de basses d'eaux,
- Par les biefs qui d'une part stabilisent les hauteurs d'eau mais qui d'autre part ralentissent la vitesse d'écoulement et qui influent ainsi sur les impacts des périodes d'étiage.

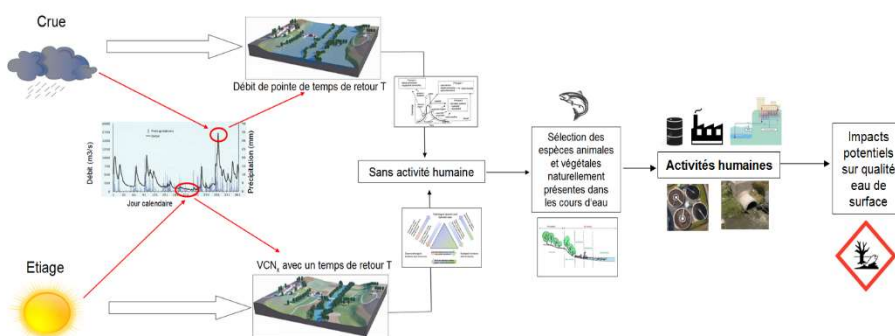


Figure 40 : Liens entre les étiages (respectivement les crues) et l'état des eaux de surface

Les communautés biologiques peuvent alors subir des altérations plus ou moins marquées, à savoir :

- La rupture de la continuité écologique, lorsque la hauteur d'eau devient insuffisante pour permettre aux organismes d'accéder à certaines aires de retrait et aux affluents ; ces effets sont accentués lorsque des assecs se manifestent,
- L'augmentation de la concentration de certains polluants dont les flux rejetés sont pratiquement constants tout au long de l'année, du fait d'une moindre dilution (tel est par exemple le cas des substances pharmaceutiques utilisées pour des maladies de longue durée comme les maladies cardio-vasculaires par exemple),
- L'apport brutal de pollution en cas de fortes pluies suite à une sécheresse prolongée peut engendrer des concentrations élevées en polluants et une consommation importante d'oxygène,

- La mise en bief et le ralentissement de l'écoulement, avec impact sur le bilan en oxygène et la qualité des habitats et ainsi sur les espèces rhéophiles,
- La stratification de la colonne d'eau dans les cours d'eau fortement aménagés, avec impact négatif sur le bilan en oxygène,
- Le réchauffement de l'eau, avec des conséquences négatives sur la disponibilité en oxygène notamment pour le peuplement piscicole et des risques accrus de prolifération végétale (phytoplancton et/ou macrophytes).

Cependant, la relation entre le débit et la concentration des polluants ne peut pas seulement être expliquée par une simple règle de dilution. En effet, en période d'étiage, les flux fortement liés aux précipitations sont fortement réduits (ruissellement urbain, pollutions diffuses agricoles, etc.). Par ailleurs, sous l'effet de la température, souvent élevée en période d'étiage, les processus biologiques d'autoépuration pour la pollution organique facilement biodégradable sont intensifiés, en station d'épuration, mais aussi directement dans les cours d'eau.

Le lien de cause à effet entre étiage et qualité de l'eau est donc régi par des mécanismes nombreux, complexes et souvent antagonistes. La résultante dépend donc largement des caractéristiques propres à chaque du cours d'eau.

Si l'on considère la localisation des stations du réseau de mesure homogène (RMH) du bassin de la Meuse (cf. figure 41) et celui du réseau en commun de suivi de l'étiage décrit au chapitre 6.1 (cf. figure 27), il devrait être théoriquement possible de faire une analyse comparative entre la réduction des débits en période d'étiage et l'état des eaux observée.

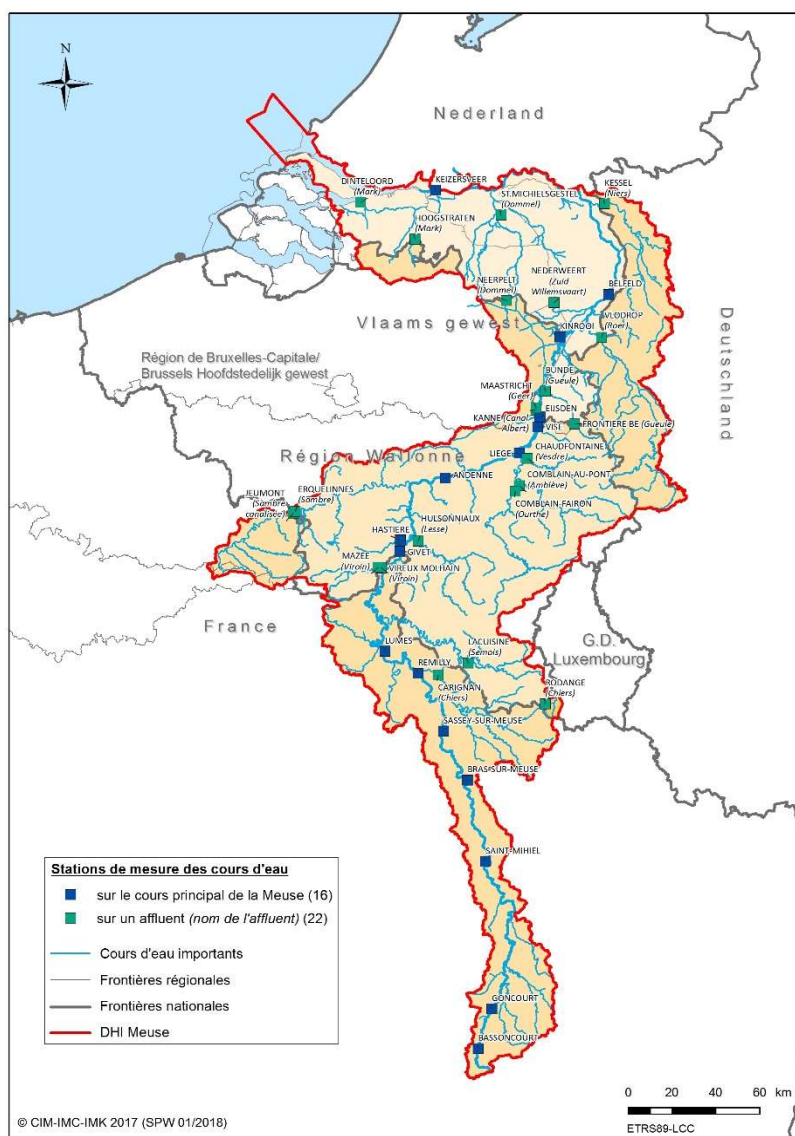


Figure 41 : localisation des sites de suivi composant le Réseau de Mesures Homogène (RMH) Meuse

Mais dans la pratique, tel n'est pas le cas pour les raisons suivantes :

- Même pour les 21 stations hydrologiques du réseau en commun de suivi de l'étiage de la CIM (cf. chapitre 6.1) dont on dispose de chroniques de débits de plusieurs dizaines d'années, il n'est pas toujours possible de mettre en vis-à-vis des résultats de la surveillance pour tous les éléments de qualité physico-chimique et biologique associés à l'état d'une masse d'eau au sens de la DCE. En effet, les paramètres biologiques ne sont pas toujours disponibles tous les ans. Par ailleurs, ils sont représentatifs de périodes plus ou moins longues (selon les groupes biologiques) ne couvrant pas nécessairement les périodes d'étiages.
- Néanmoins, il est possible de montrer que la qualité de l'eau (paramètres généraux physico-chimiques au sens de la DCE) peut être bonne et stable même avec des épisodes hydrologiques marqués. On peut notamment comparer la chronique des VCN7 annuels et les histogrammes des paramètres SumD et MaxD observés sur la Meuse à Chooz, Liège et Lith-Megen au chapitre 6.1) avec les concentrations minimales en oxygène dissout d'une part et les concentrations minimales en nitrates

pour les stations de Saint-Mihiel, Visé et Keizersveer (figures 42 et 43). On note par exemple que l'étiage de 2003 n'a eu aucun effet visible sur ces deux paramètres.

- Des progrès significatifs ont été réalisés et observés pour la Meuse depuis les années 1990 dans la réduction de la pollution grâce notamment à la mise en œuvre couronnée de succès de la Directive 91/271/CEE relative aux eaux résiduaires urbaines.

Ce développement positif se révèle à travers les paramètres physico-chimiques et s'ajoute à un possible impact des bas débits en période d'étiage. Un lien de causalité ne peut donc pratiquement pas être établi entre la qualité de l'eau et les épisodes d'étiage, du moins pas avec les données disponibles.

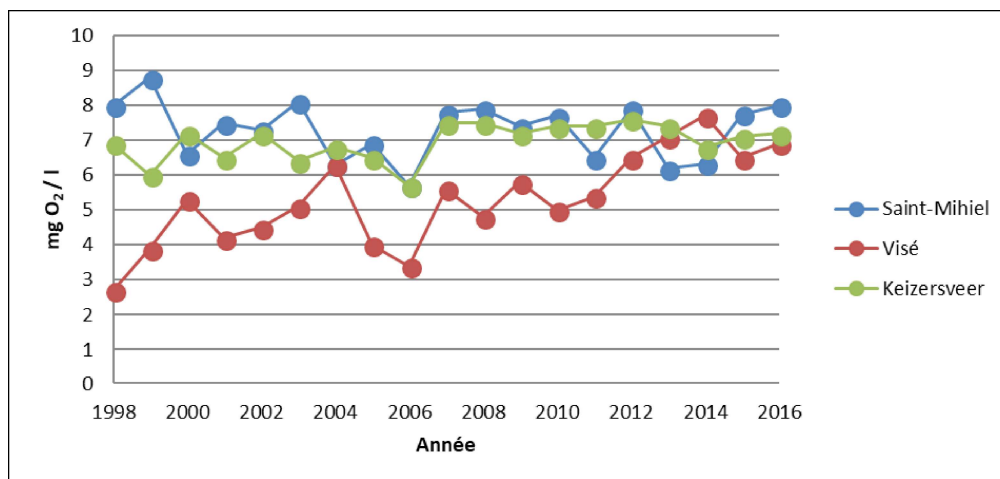


Figure 42 : Évolution de la concentration minimale annuelle en oxygène dissous mesurée dans trois sites de suivi de la qualité des eaux établis sur le cours principal de la Meuse

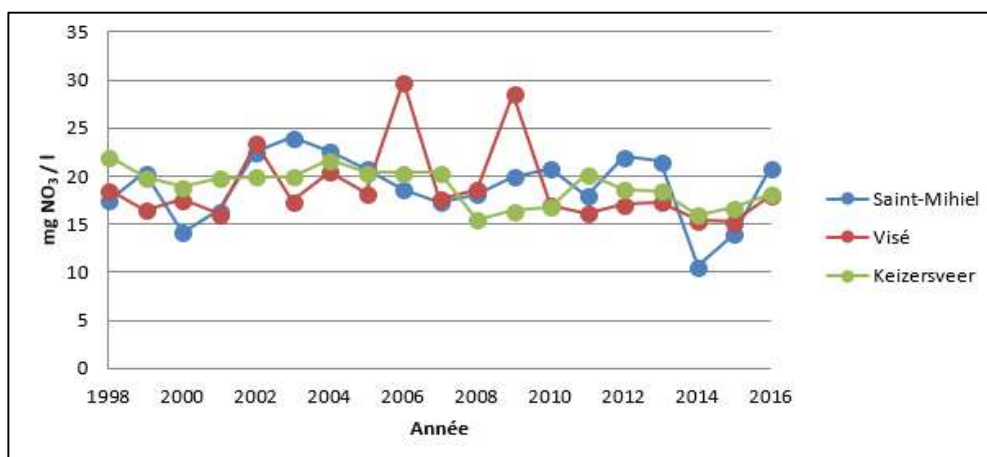


Figure 43 : Évolution de la concentration maximale annuelle en nitrates dans 3 sites de suivi de la qualité des eaux du cours principal de la Meuse

8. Impact des étiages sur les différents usages des eaux de surface

Les cours d'eau du bassin de la Meuse sont tous caractérisés par un régime des eaux pluviales. Les débits moyens atteignent leur maximum en hiver ou au printemps et sont les plus bas en août et en septembre en raison de la diminution estivale des précipitations en temps normal et de l'augmentation de l'intensité de l'évaporation due à la température et à la croissance végétale.

Des difficultés pour les activités humaines peuvent toutefois survenir lorsque la durée et/ou la gravité du phénomène d'étiage excède(nt) les réductions de débit habituellement rencontrées :

- La diminution de la quantité d'eau disponible peut affecter plus ou moins durablement les prélèvements industriels (notamment ceux liés à la production énergétique), les prélèvements agricoles, la navigation (augmentation des temps d'attente par l'éclusage, limitation du degré de chargement suite à la baisse du niveau d'eau en situation extrême comme en 1976) ainsi que la ressource exploitable pour la production d'eau potable.
- Les activités de loisirs nécessitent des niveaux d'eau suffisants (plans d'eau par exemple) ou une qualité bactériologique suffisante. Ces activités sont parfois remises en cause en période d'étiage sévère ou lors d'apports brutaux de pollution bactériologique via les réseaux d'assainissement suite à des épisodes pluvieux intenses qui se produisent après un épisode d'étiage prolongé.
- Les impacts potentiellement négatifs sur la qualité de l'eau de surface peuvent compromettre la production d'eau potable à partir de celle-ci - notamment dans les parties flamande et néerlandaise du bassin versant de la Meuse (respect des normes et réglementations). De manière plus générale, les étiages prolongés peuvent avoir des répercussions tant sur la quantité que sur la qualité de l'eau et donc sur les usages qui en sont faits. Ces impacts seront étudiés lors d'une phase ultérieure de mise à jour de ce plan d'approche.
- La stabilité des ouvrages de protection contre les inondations peut être impactée par un niveau faible des eaux lors d'une période prolongée.

Bien que naturellement adaptées aux périodes d'étiages, la faune et la flore des cours d'eau peuvent être impactées par une durée et/ou une gravité exceptionnelle(s) du phénomène.

Enfin, des périodes d'étiage prolongées peuvent également rendre plus délicate la protection de zones humides telles que les tourbières.

La figure 44 ci-après illustre les impacts quantitatifs et qualitatifs que peut avoir la réduction des débits à l'étiage.



Figure 44 : Schéma de principe des impacts des étiages sur l'état des eaux et les usages

9. Réduction des effets négatifs des étiages sur l'état des masses d'eau de surface

9.1 Les mesures (actions) prévues dans le cadre des plans de gestion et du programme de mesures de la Directive Cadre sur l'Eau

D'importantes exigences en matière de quantité d'eau dans le DHI Meuse s'imposent dans les domaines du refroidissement des centrales électriques, de l'alimentation en eau potable en Belgique et aux Pays-Bas et de la navigation sur la Meuse comme le rappelle le chapitre 7.2.4 de la partie factière du plan de gestion du DHI de la Meuse du 2^{ème} cycle de la DCE.

Comme on l'a vu au chapitre 2.2 les mesures de gestion quantitative de la ressource en eau de surface telles que la limitation ou l'arrêt d'usages (prélèvements d'eau, rejets, production hydroélectrique, etc.), restent de la seule compétence des Etats en application des dispositions juridiques et réglementaires en vigueur qui sont différentes d'un pays à l'autre.

Toutefois, les dimensions de protection de l'environnement et de développement durable de la ressource quantitative en eau doivent être prises en compte dans les différentes utilisations quantitatives de l'eau (production d'énergie, transport fluvial, production agricole, tourisme, etc.) comme le précise également le considérant n°16 de la DCE⁷.

De plus, une politique en matière de gestion des étiages ne doit pas seulement être basée sur la satisfaction des besoins quantitatifs pour les usages de l'eau mais se doit également de tenir compte des intérêts environnementaux. Le 1^{er} considérant de la DCE rappelle en effet que « l'eau n'est pas un bien marchand comme les autres mais un patrimoine qu'il faut protéger, défendre et traiter comme tel ».

Le schéma ci-après illustre les difficultés et conflits qui résultent d'une politique de gestion des étiages basée sur la satisfaction des besoins quantitatifs d'usages de l'eau (Figure 45).

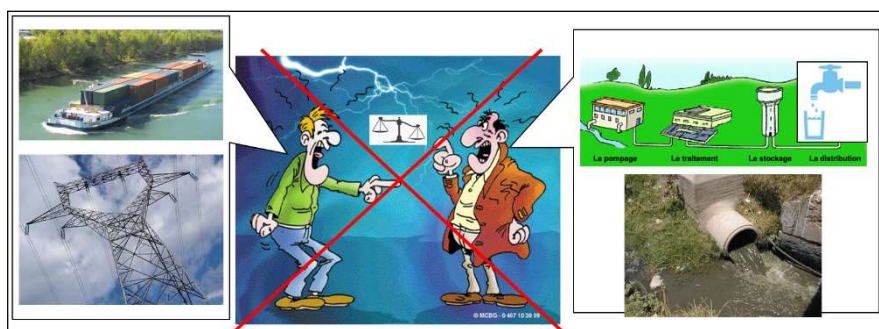


Figure 45 : conflits potentiels entre usagers de l'eau en période d'étiage

⁷ "Il est nécessaire d'intégrer davantage la protection et la gestion écologiquement viable des eaux dans les autres politiques communautaires, telles que celle de l'énergie, celle des transports, la politique agricole, celle de la pêche, la politique régionale, et celle du tourisme. Il convient que la présente directive fournisse la base d'un dialogue permanent et permette l'élaboration de stratégies visant cet objectif d'intégration."

Dans ce contexte, il apparaît nécessaire :

- D'analyser les besoins actuels et futurs de coordination des Etats, Länder et régions du bassin de la Meuse en matière de gestion quantitative dans le cadre de la mise en œuvre de la DCE (cf. chapitre 9.1.1),
- D'analyser les besoins actuels et futurs de coordination des Etats, Länder et régions du bassin de la Meuse en matière de gestion de crise en en étiage (cf. chapitre 9.1.2).

9.1.1 Coordination des actions de gestion quantitative des programmes de mesure nationaux

L'analyse des besoins actuels et futurs de coordination des Etats, Länder et régions du bassin de la Meuse en matière de gestion quantitative dans le cadre de la mise en œuvre de la DCE a été réalisée en se basant sur le logigramme décisionnel suivant (cf. figure 46).

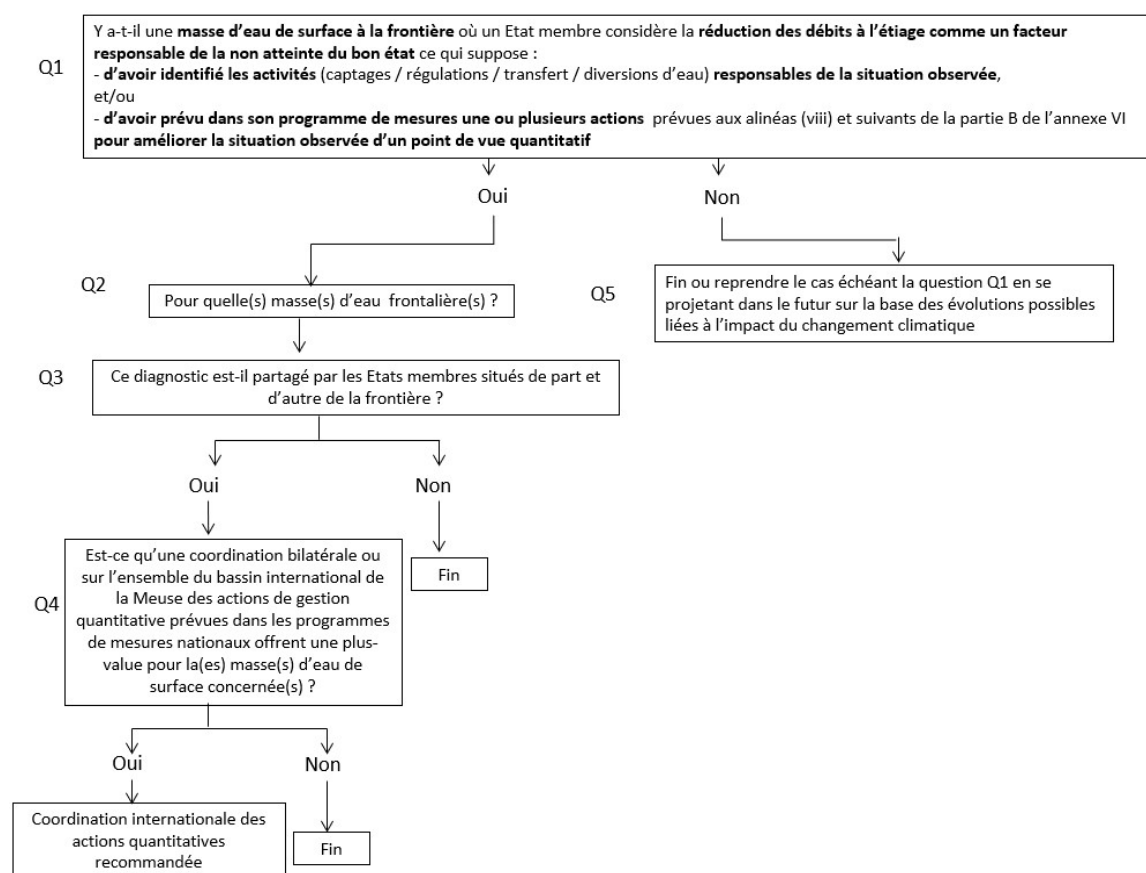


Figure 46 : Logigramme décisionnel relatif à la nécessité de coordonner les actions de gestion quantitative à l'échelle internationale

Une première analyse des masses d'eau de surface situées aux frontières, basée sur l'arbre de décision de la figure 46, a montré que les étiages seraient considérés comme un facteur responsable de la non-atteinte du bon état / potentiel pour une partie de ces masses d'eau.

Il apparaît qu'un travail complémentaire reste à fournir par les délégations à ce sujet.

Celui-ci a débuté lors de la rédaction du présent rapport et devra être prolongé dans le futur pour les masses d'eau situées aux frontières qui le nécessiteraient.

9.1.2 Coordination de la gestion de crise en situation d'étiage

Afin de répondre au besoin actuel et futur de coordination des Etats, Länder et régions du bassin Meuse pour la gestion de crise à l'étiage, le logigramme décisionnel suivant est utilisé (cf. figure 47).

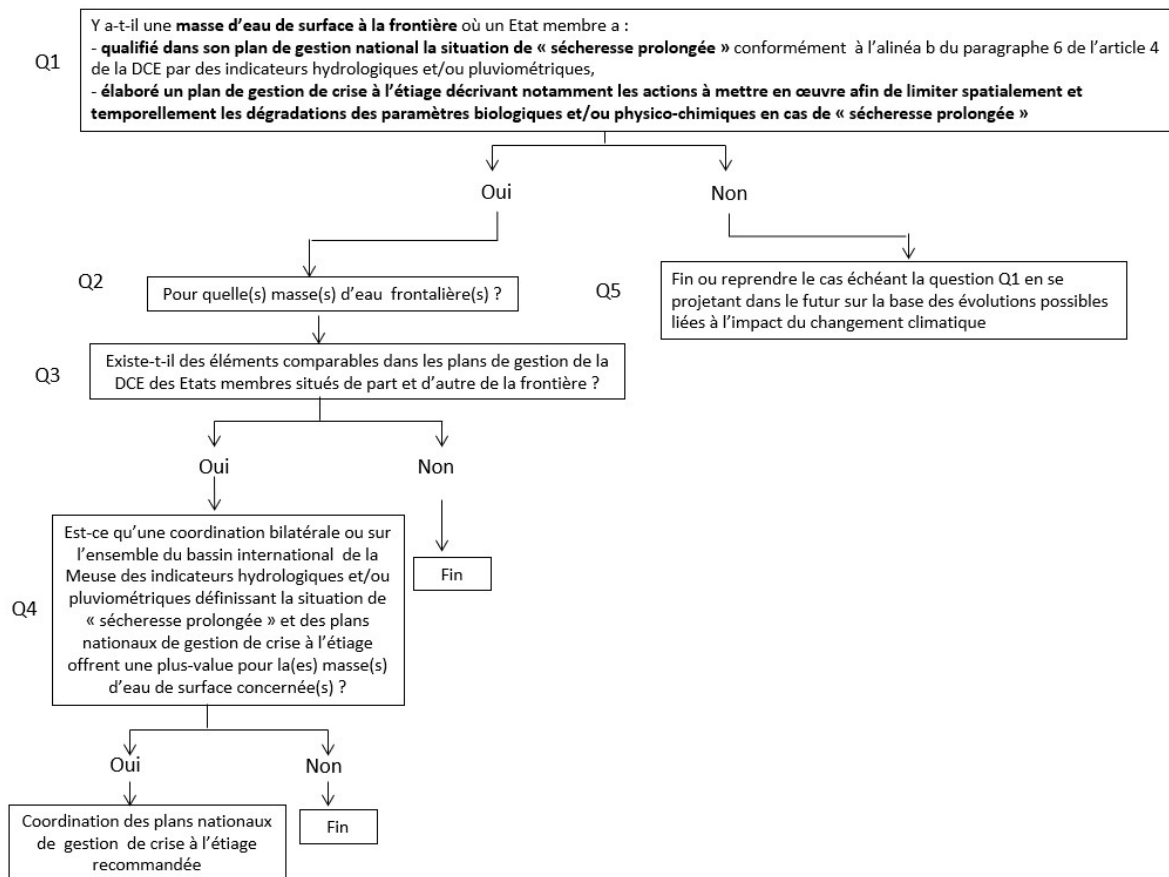


Figure 47 : Logigramme décisionnel répondant au besoin de coordination internationale pour la gestion de crise à l'étiage

Un travail complémentaire reste à fournir afin de pouvoir répondre aux questions de ce logigramme.

9.2 Les accords internationaux de répartition des débits du bassin de la Meuse

9.2.1 Accord international sur la centrale nucléaire de CHOOZ

L'accord entre le Gouvernement de la République française et le Gouvernement du Royaume de Belgique relatif à la centrale nucléaire de Chooz signé à Bruxelles le 8 septembre 1998 et retranscrit en droit français par le décret n°98-1004 du 30 octobre 1998 prévoit :

- la mise en place d'une station de mesure de débit dénommée « Chooz – Trou-du-Diable » et située en amont des ouvrages de prise d'eau et de rejet de la centrale électronucléaire,
- la télétransmission des données de hauteur d'eau (station de « Chooz – Trou-du-Diable ») et de pluie (« station de Chooz – Ile Graviat ») vers les services hydrologiques wallons (SPW),
- la réalisation coordonnée entre EDF, la DREAL Grand Est et le SPW d'un minimum de 12 jaugeages par an dont la moitié en période d'étiage avec l'obligation pour EDF d'assurer au minimum 1 jaugeage supplémentaire par mois en période d'étiage critique afin de pouvoir calculer les débits de la Meuse,
- la mise en place des premières mesures de sauvegarde lorsque la moyenne des débits journaliers calculée sur 12 jours consécutifs atteint 22 m³/s,
- l'absence d'aggravation de la situation hydrologique lorsque la moyenne des débits journaliers calculée sur 12 jours consécutifs atteint 20 m³/s.

Les modalités pratiques de prise en compte des dispositions de cet accord sont précisées dans le cadre de l'arrêté de renouvellement des autorisations de prélèvements et de consommation d'eau et de rejets dans l'environnement des effluents liquides et gazeux du 17 novembre 2009.

Les volumes prélevés dans la Meuse n'excèdent pas les valeurs maximales suivantes :

| Volume annuel | Volume journalier | Débit maximal instantané |
|--------------------------------|--------------------------|---------------------------------|
| 150 millions de m ³ | 544 000 m ³ | 7 m ³ /s |

Le débit de la prise d'eau dans la Meuse est restitué au milieu, à l'exception de la fraction évaporée.

La quantité d'eau maximale évaporée, quelle que soit la période de l'année, par les deux tours de refroidissement de Chooz B est limitée à 2,1 m³/s en moyenne journalière. Les restrictions complémentaires suivantes s'appliquent :

- si la moyenne des débits journaliers de la Meuse, évaluée à l'aval du site sur douze jours consécutifs, est comprise entre 20 et 22 m³/s, le débit évaporé pendant le treizième jour est limité à cinq pour cent du débit moyen journalier du douzième jour ;
- si la moyenne des débits journaliers de la Meuse, évaluée à l'aval du site sur douze jours consécutifs, est inférieure à 20 m³/s, le débit évaporé pendant le treizième jour est nul ;

- sauf circonstance exceptionnelle dûment motivée, le débit évaporé sera nul lorsque le débit moyen journalier de la Meuse à l'aval du site est inférieur ou égal à 14 m³/s.

Un prélèvement de 1,6 m³/s, indispensable au refroidissement des réacteurs lors des arrêts de production peut avoir lieu, avec restitution intégrale, quel que soit le débit de la rivière.

9.2.2 Convention entre la Région flamande et le Royaume des Pays-Bas en matière d'évacuation des eaux de la Meuse

En cas de débits faibles (< 130 m³/s), l'eau de la Meuse est répartie entre les Pays Bas et la Flandre conformément aux termes de l'accord entre la Région flamande et le Royaume des Pays-Bas en matière d'évacuation des eaux de la Meuse, signée à Anvers le 17 janvier 1995.

Le principe de cet accord consiste en une répartition égale des eaux de la Meuse entre les deux signataires et en une responsabilité commune pour la Meuse mitoyenne.

1. En cas d'un débit de la Meuse entre 130 m³/s et 60 m³/s (phase de démarrage) la consommation néerlandaise et flamande est plafonnée chacune à 25-35 m³/s.
2. En cas d'un débit de la Meuse entre 60 m³/s et 30 m³/s (phase d'alarme), les Parties garantissent un débit minimum de 10 m³/s au barrage de Borgharen. Dans cette phase, les Parties font des économies sur la consommation néerlandaise et flamande visée au point 1.
3. En cas d'un débit de la Meuse de 30 m³/s et moins (phase de crise) les Parties répartissent en parts égales ce débit sur la consommation néerlandaise, la consommation flamande et la Meuse mitoyenne par des économies plus poussées.

Aux fins de l'exécution des dispositions de l'accord les Parties ont institué un groupe de travail néerlandais-flamand pour le régime d'évacuation de la Meuse. Bien que non Partie à cette convention, la Wallonie est membre observateur du groupe de travail.

9.2.3 Convention sur l'eau pour les canaux du Limbourg (Midden-Limburgse kanalen) et du Brabant septentrional (WATAK MLNBK)

Le WATAK (1994) est une convention entre les gestionnaires régionaux des canaux concernant le transfert d'un débit de 16,5 m³/s vers ces canaux en situation normale et concernant le déficit en eau en cas d'étiage. L'actualisation de cette convention est en cours.

10. Effets potentiels du changement climatique sur l'évolution des débits d'étiage

10.1 AMICE ⁽⁰⁵⁾

Le présent sous-chapitre a pour objet de résumer la méthode et les résultats présentés dans le cadre du rapport « Analysis of climate change, high-flows and low-flows scenarios on the Meuse basin » du 30 juin 2010 de l'action 3 du Work Package 1 du projet AMICE ⁽⁰⁵⁾.

Menée entre 2009 et 2010 dans le cadre du programme Interreg IV-B de l'Union européenne, cette action avait pour objectif d'identifier d'éventuelles incidences des changements climatiques sur le régime hydrologique des cours d'eau dans le bassin de la Meuse dans un futur proche (2021-2050) et dans un futur lointain (2071-2100) ⁽⁰⁵⁾.

10.1.1 Modèles hydrologiques utilisés et points de calculs

Les calculs des débits ont été réalisés pour 10 stations hydrologiques dans le bassin international de la Meuse (cf. figure 48 et tableau n°14).



Figure 48 : Carte des points de calculs hydrologiques retenus dans le cadre du projet AMICE ⁽⁰⁵⁾

Chaque partenaire a réalisé les calculs hydrologiques pour les stations situées sur son territoire de compétence à partir des modèles hydrologiques présentés dans le tableau n°13.

10.1.2 Scénarios climatiques utilisés pour les projections hydrologiques

L'estimation des éventuelles incidences des changements climatiques sur le régime hydrologique des cours d'eau dans le bassin de la Meuse a été réalisée en comparant les débits calculés avec les modèles hydrologiques sur les périodes 1961-1990 ou 1971-2000 représentant le « temps présent » avec les débits calculés sur les périodes 2021-2050 (futur proche) et 2071-2100 (futur lointain).

Les débits pour les périodes du temps présent ont été calculés en utilisant les données météorologiques issues de la base de données climatologique E-OBS 2.0 fournie par le European Climate Assessment & Dataset project ⁽⁰⁶⁾ et qui contient les données journalières de précipitation et de température de l'air (2 mètres) de 1950 à 2008 pour l'Europe.

Les débits pour les périodes de temps futur ont été calculés en utilisant les données météorologiques issues de la base de données climatologique E-OBS 2.0 transformées selon la méthode « delta change ».

A partir des modèles climatiques nationaux les partenaires du projet AMICE ont déduit des facteurs de transformations de la température et de la précipitation par pays pour un scénario humide et un scénario sec.

Ils ont également calculé des facteurs de transformation transnationaux de la température et de la précipitation en pondérant les facteurs de transformation nationaux en fonction de la proportion du bassin versant (tableau 13).

Tableau 13 : pondération appliquée aux facteurs de transformations nationaux pour aboutir à un scénario transnational ⁽⁰⁵⁾

| | Drainage area (km²) | Weighting coefficient |
|----------------------------|---------------------------------------|------------------------------|
| France | 10.120 | 0,31 |
| Walloon | 10.880 | 0,33 |
| Flanders & Netherlands | 8.662 | 0,26 |
| Germany | 3.338 | 0,10 |
| Transnational Meuse | 33.000 | 1,0 |

10.1.3 Résultats

L'identification d'éventuelles incidences des changements climatiques sur le régime hydrologique des cours d'eau à l'étiage dans le bassin de la Meuse dans le cadre du projet AMICE a été réalisée sur la base du VCN7 obtenu à partir des données journalières de débit d'avril à septembre calculées par les modèles hydrologiques nationaux :

- pour les périodes 1961-1990 ou 1971-2000 représentant le « temps présent » en utilisant les données météorologiques issues de E-OBS 2.0,

- pour les périodes 2021-2050 (futur proche) et 2071-2100 (futur lointain) en appliquant aux données issues de E-OBS 2.0 les facteurs de transformations nationaux et transnationaux pour les scénarios secs et humides.

Le tableau n°14 fournit les résultats les plus défavorables pour le rapport $VCN7_{\text{futur}}/VCN7_{\text{présent}}$ pour les scénarios humide (valeurs en bleu) et sec (valeurs en orange).

Tableau 14 : évolution maximale du VCN7 entre avril et septembre calculée dans le cadre du projet AMICE ⁽⁰⁵⁾

| | Meuse St-Mihiel | Meuse Stenay | Meuse Montcy | Meuse Chooz | Meuse Sint Pieter | Lesse Gendron | Vesdre Chaud- fontaine | Rur Stah | Niers Goch |
|-----------|--------------------|-----------------|-----------------|----------------|-------------------------|------------------|------------------------------|-------------|---------------|
| 2021-2050 | 0.79 | 0.73 | 0.88 | 0.88 | 0.82 | 1.00 | 1.17 | 0.68 | 0.84 |
| | 0.61 | 0.64 | 0.75 | 0.74 | 0.65 | 0.83 | 0.93 | 0.56 | 0.63 |
| 2071-2100 | 0.60 | 0.50 | 0.71 | 0.65 | 0.60 | 0.96 | 1.10 | 0.71 | 0.60 |
| | 0.43 | 0.47 | 0.52 | 0.52 | 0.33 | 0.57 | 0.67 | 0.36 | 0.27 |

10.2 Nouvelles connaissances disponibles depuis AMICE

10.2.1 Pays-Bas ⁽⁰⁷⁾

Sur base des nouvelles prévisions publiées par le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC), l'Institut Royal Météorologique Néerlandais (KNMI) a établi quatre nouveaux scénarios climatiques pour les Pays-Bas dits KNMI'14 ⁽⁰⁷⁾ pour les échéances 2050 et 2085 (cf. figures n°49 et 50) qui prennent en compte à la fois l'évolution de la température (scénarios G et W) ainsi que les modifications dans la circulation de l'air (indices H et L).

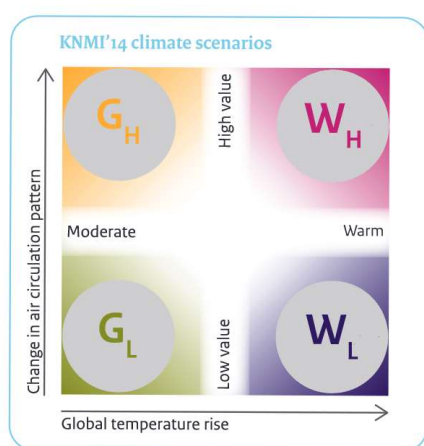


Figure 49 : scénarios KNMI'14 (G signifie gematigd, c'est-à-dire modéré en néerlandais ; W signifie warm, c'est-à-dire chaud en néerlandais – H signifie high et L signifie low) ⁽⁰⁷⁾

L'augmentation de la température moyenne globale est le premier critère de classification qui distingue les scénarios. Dans les scénarios G, l'augmentation de la température moyenne mondiale est de 1 °C en 2050 et de 1,5 °C en 2085 par rapport à 1981-2010 ; dans les scénarios W, elle est de 2 °C en 2050 et de 3,5 °C en 2085 par rapport à 1981-2010 (cf. figure

n°4). G signifie gematigd en néerlandais, c'est-à-dire modéré ; W signifie warm, c'est-à-dire chaud.

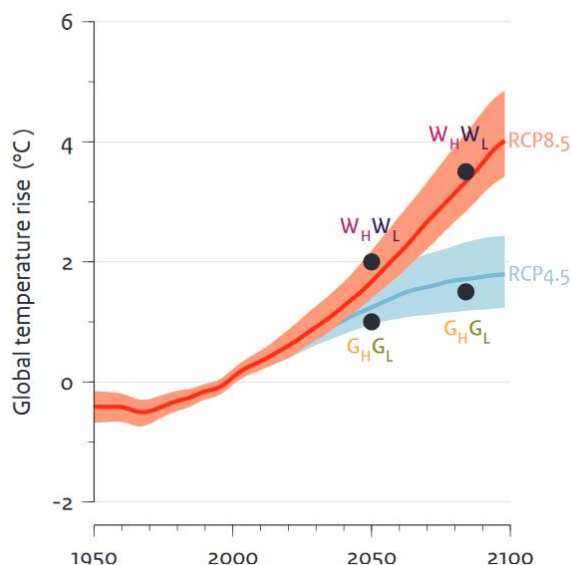


Figure 50 : augmentation des températures à l'horizon 2050 et 2085 par rapport à la période 1981-2010 dans les scénarios KNMI'14 ⁽⁰⁷⁾

Dans les scénarios H, les vents d'ouest sont plus fréquents en hiver. Il en résulte un temps doux et plus humide que dans les scénarios L. En été, les systèmes à haute pression ont une plus grande influence sur les conditions météorologiques dans les scénarios H. Par rapport aux scénarios L, ces systèmes de haute pression provoquent davantage de vents d'est, ce qui implique un temps plus chaud et plus sec pour les Pays-Bas. Ils donnent le changement vers 2050 et 2085 par rapport au climat de la période 1981-2010.

Un 5^{ème} scénario météorologique $W_{H,dry}$ a été élaboré afin d'identifier d'éventuelles incidences des changements climatiques sur le régime hydrologique de la Meuse à l'échéance 2050 et 2085 dans le cas d'un été extrêmement sec.

Les débits pour les périodes du temps présent et de temps futur ont été calculés en utilisant le modèle hydrologique HBV.

Les figures n°51 et 52 issues du rapport du KNMI ⁽⁰⁸⁾ montrent l'évolution calculée à la station de Borgharen des débits moyens mensuels et du VCN7 avec les 5 scénarios issus de KNMI'14 en comparaison avec :

- les résultats obtenus à partir des précédents scénarios météorologiques du KNMI,
- les résultats d'AMICE,
- les résultats obtenus à partir des derniers scénarios météorologiques du GIEC (5^{ème} projet d'intercomparaison des modèles couplés - CMIP 5 pour 5th Coupled model intercomparison project en anglais).

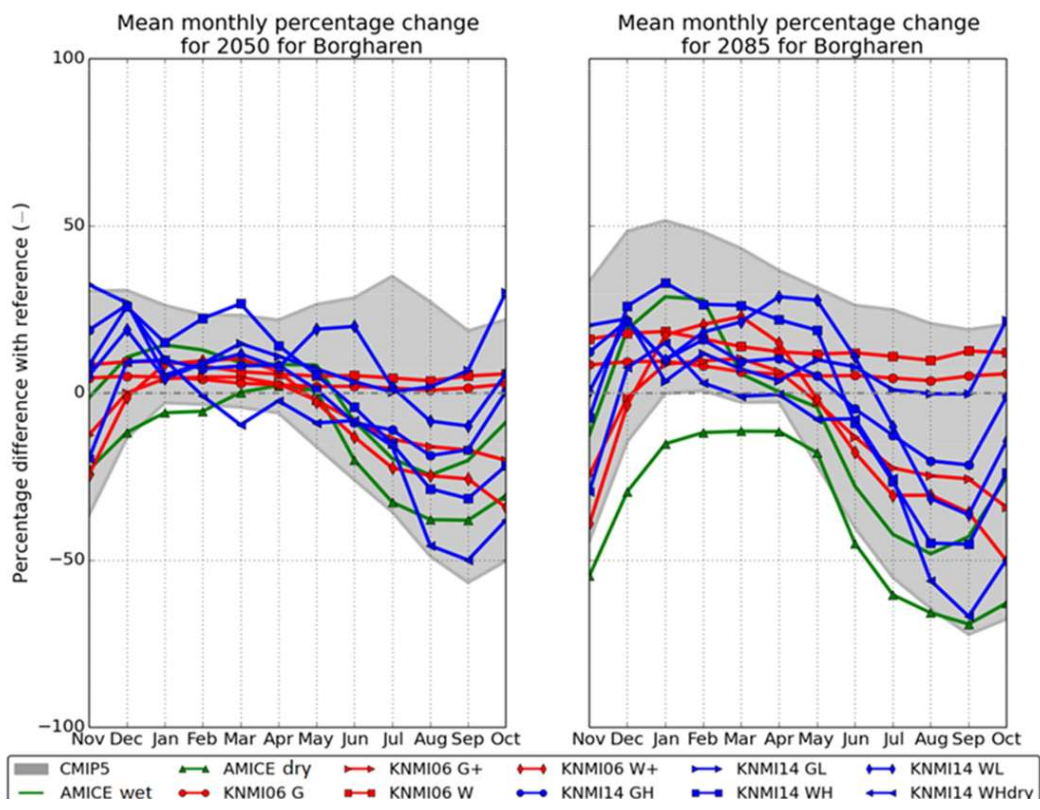


Figure 51 : évolution calculée à la station de Borgharen des débits moyens mensuels

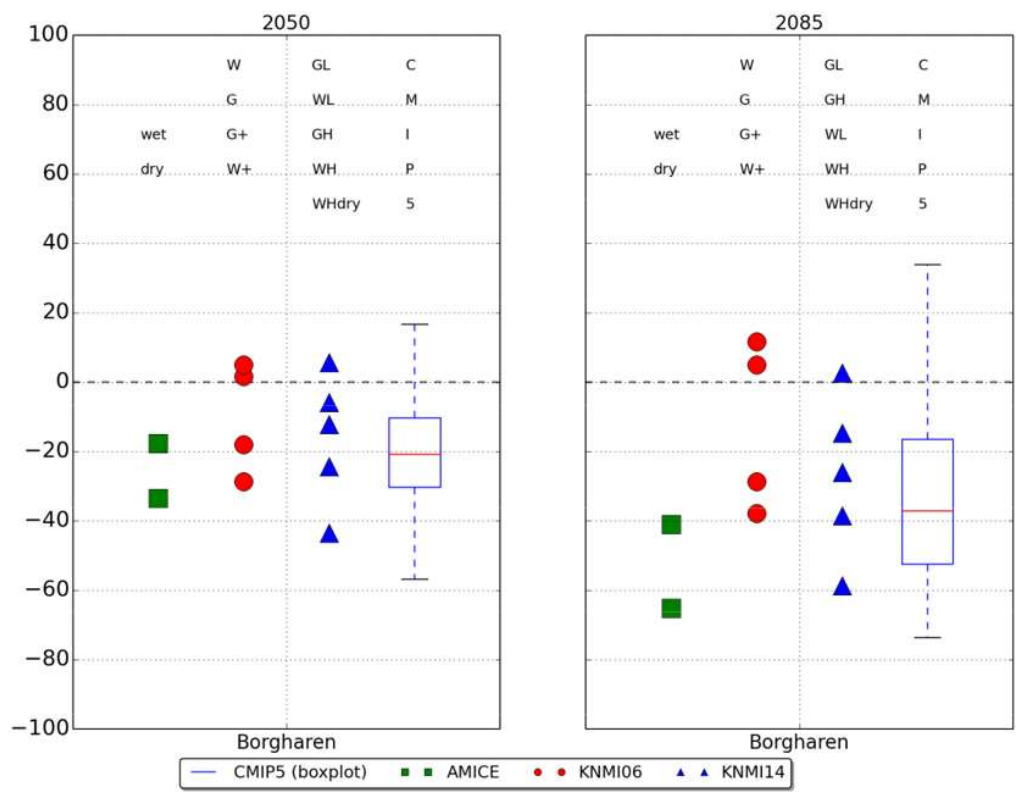


Figure 52 : évolution calculée à la station de Borgharen des VCN7 annuels

Un projet d'étude appelé « projet Explore 2070 ⁽⁰⁹⁾ » financé par le ministère de l'écologie s'est déroulé de juin 2010 à octobre 2012 afin d'évaluer les impacts potentiels du changement climatique sur la ressource en eau de surface sur la période de temps futur 2046-2065 en comparaison à la période de référence du temps présent 1961-1990 sur la base du scénario A1B du 4ème rapport d'évaluation du GIEC.

Pour répondre à cette question, une chaîne de calcul faisant intervenir deux modèles hydrologiques (GR4 J et Isba-Modcou) a été mise en place pour 1522 bassins versants en France métropolitaine ⁽⁰⁹⁾ et 35 bassins versants dans les départements d'Outre-mer (Guadeloupe, Guyane, Martinique et Réunion).

7 modèles climatologiques ont été employés afin d'établir des projections de débits à l'aide des deux modèles hydrologiques à l'horizon 2050-2070 pour la période du temps présent 1961-1990 et la période de temps futur 2046-2065.

A cet effet, une méthode de descente d'échelle statistique a été utilisée pour passer de la maille des modèles climatologiques à une maille de 8 km x 8 km compatible avec les modèles hydrologiques employés.

Résultats :

Les figures n°53 et 54 montrent l'évolution calculée à la station de Chooz – Ile Graviat des débits moyens mensuels et du VCN10, VCN30, et QMNA (débit mensuel minimal) pour les temps de retour 2 ans, 5 ans et 10 ans.

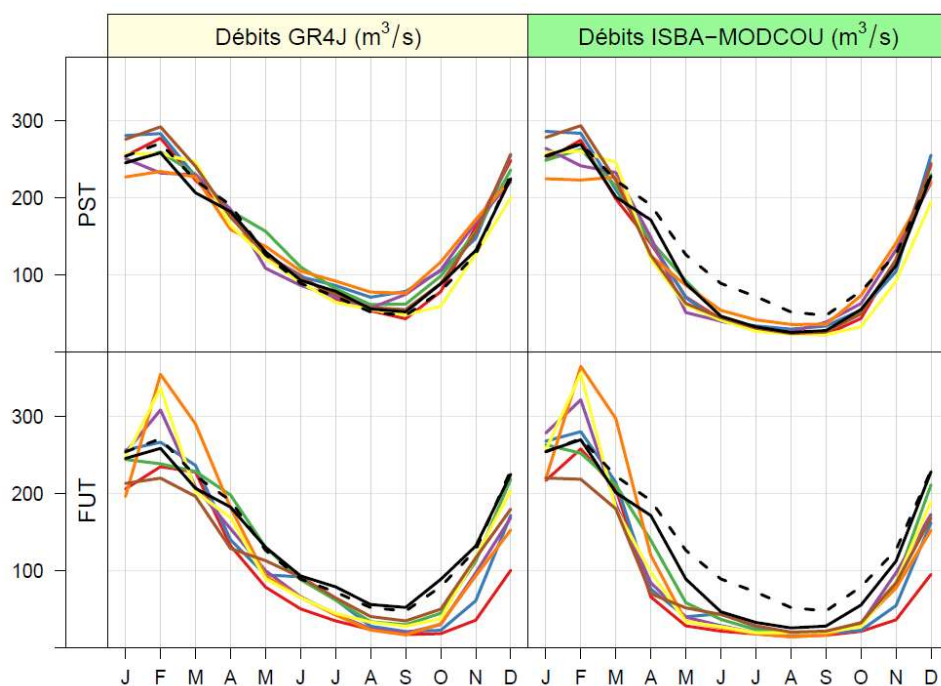


Figure 53 : débits mensuels interannuels calculés avec les modèles hydrologiques GR4J et ISBA-MODCOU pour les périodes 1961-1990 (PST) et 2046-2065 (FUT) à Chooz avec les 7 modèles climatologiques du projet EXPLORE 2070 ⁽⁰⁹⁾ (traits de couleur) – Les débits observés sont en pointillés noirs.

| ÉTIAGES | | | | | | | |
|-------------|---|-------|------|-------|------|------|------|
| | | VCN10 | | VCN30 | | QMNA | |
| 2 ans | Qobs POD (m ³ /s) | 31,1 | | 34,5 | | 37 | |
| | Qsim (climat obs) POD (m ³ /s) | 28,2 | 14,3 | 31,8 | 17 | 34,7 | 18,9 |
| | Δ min (%) | -61 | -13 | -64 | -28 | -65 | -31 |
| | Δ med (%) | -55 | -9 | -56 | -19 | -57 | -23 |
| | Δ max (%) | -28 | -3 | -31 | -8 | -32 | -14 |
| 5 ans secs | Qobs POD (m ³ /s) | 22,1 | | 24,8 | | 26,1 | |
| | Qsim (climat obs) POD (m ³ /s) | 18 | 12,6 | 19,9 | 13,8 | 21,3 | 15,1 |
| | Δ min (%) | -60 | -13 | -62 | -19 | -61 | -23 |
| | Δ med (%) | -53 | -9 | -55 | -11 | -55 | -16 |
| | Δ max (%) | -34 | -3 | -36 | -8 | -36 | -11 |
| 10 ans secs | Qobs POD (m ³ /s) | 18,5 | | 20,8 | | 21,8 | |
| | Qsim (climat obs) POD (m ³ /s) | 14,2 | 11,8 | 15,6 | 12,4 | 16,5 | 13,4 |
| | Δ min (%) | -59 | -10 | -61 | -15 | -60 | -19 |
| | Δ med (%) | -50 | -0 | -53 | -6 | -53 | -12 |
| | Δ max (%) | -37 | +8 | -38 | -1 | -38 | -8 |

Figure 54 : valeurs médiane, minimale et maximale à Chooz des évolutions relatives entre les périodes 1961-1990 et 2046-2065 du VCN10, VCN30 et QMNA calculées avec le modèle GR4J (jaune) et le modèle Modcou (vert) avec les 7 modèles climatiques du projet EXPLORE 2070 ⁽⁰⁹⁾

10.2.3 Wallonie

Il n'y a pas eu de nouvelle étude afin d'évaluer les impacts potentiels du changement climatique sur les débits d'étiages des cours d'eau.

La Région wallonne a réalisé une étude d'adaptation au changement climatique ⁽¹⁰⁾ suivant sept thématiques : l'agriculture, l'eau, les infrastructures/l'aménagement du territoire, la santé, l'énergie, la biodiversité et la forêt. Une consultation élargie d'experts a permis de dégager les principales mesures à mettre en œuvre afin d'adapter la Région wallonne au changement climatique ⁽¹⁰⁾. Cette étude ⁽¹⁰⁾ part d'un état des lieux au niveau européen, le choix de scénarios pour arriver à définir la vulnérabilité de la Wallonie et comment s'adapter à l'aide d'un plan d'actions.

10.2.4 Allemagne

Depuis 2011, le Land de Rhénanie-du-Nord-Westphalie exploite un système de surveillance des incidences climatiques avec un total de 30 indicateurs provenant de 7 secteurs environnementaux.

Afin de pouvoir décrire les effets possibles du changement climatique sur le bilan hydrique, des données sont régulièrement collectées, en particulier sur les précipitations, la température de l'eau, l'évapotranspiration, le niveau des eaux souterraines et leur recharge, le bilan hydrique climatique (la différence entre les précipitations et l'évapotranspiration) et le débit moyen des cours d'eau.

Fin 2019, les tendances suivantes ont été observées dans ce contexte :

- Les précipitations hivernales augmentent, la température moyenne et maximale de l'eau augmente, le débit annuel moyen des cours d'eau diminue, le niveau des eaux souterraines (moyenne annuelle, ainsi qu'en été et en hiver) diminue, la recharge des eaux souterraines diminue et l'évapotranspiration (moyenne annuelle) augmente.

Le système d'information spécialisé peut être consulté à l'adresse suivante :

<https://www.lanuv.nrw.de/kfm-indikatoren/index.php?mode=liste&aufzu=0>,

Le rapport pour l'année 2016 ⁽¹¹⁾ est disponible à l'adresse suivante :

https://www.lanuv.nrw.de/fileadmin/lanuvpubl/3_fachberichte/fabe74.pdf

10.2.5 Flandre

Le rapport sur l'« Actualisation et affinement des scénarios climatiques prévus pour la Flandre jusqu'en 2100 » ⁽¹²⁾ disponible sur le site www.milieurapport.be regroupe et interprète les connaissances disponibles sur le changement climatique dans le but d'assurer la transmission la plus large possible en Flandre.

Il récapitule dans son chapitre 4 les principales conclusions des différentes études disponibles sur l'impact potentiel du changement climatique sur le régime hydrologique des cours d'eau et fait référence en ce qui concerne le bassin de la Meuse aux résultats obtenus dans le cadre du projet de recherches « CCI-HYDR » réalisé par l'université catholique de Louvain et l'Institut Royal Météorologique de Belgique (cf. figure n°55 issue de l'article « Climate change and hydrological extremes in Belgian catchments » ⁽¹³⁾).

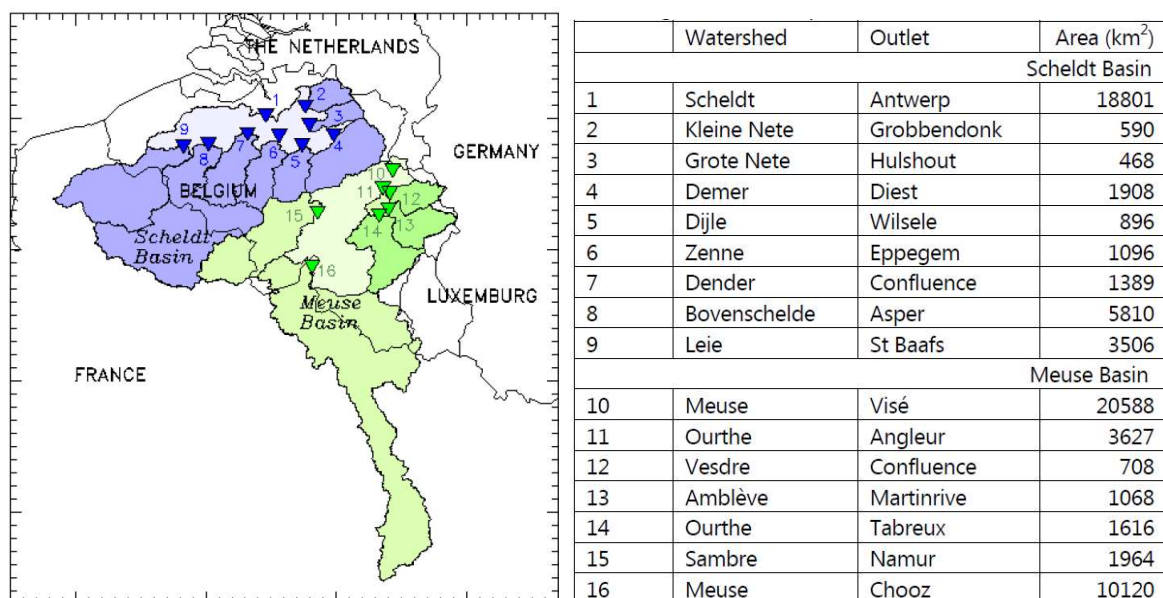


Figure 55 : stations calculées dans le cadre du projet CCI-HYDR ⁽¹³⁾

Les simulations hydrologiques réalisées pour les besoins de cette étude s'appuient sur le modèle SCHEME (SCHEIdt-MEuse), qui est la version distribuée du modèle hydrologique de l'IRM (Bultot et Dupriez, 1976). Ce modèle a été utilisé avec succès pour différents bassins versants allant d'environ 100 à 1600 km² et représentant les différentes conditions hydrologiques en Belgique (Gellens et Roulin, 1998).

La structure du modèle SCHEME comprend 9 types d'occupation du sol avec un module d'accumulation et de fonte de neige pour chaque type. L'évapotranspiration est calculée sur la base de l'eau interceptée par la végétation et la teneur en eau de deux couches de sol, ainsi que l'évapotranspiration potentielle (PET) selon la formule Penman. L'eau de surface est simulée avec un hydrogramme unitaire et l'eau souterraine est représentée par deux réservoirs. Le débit produit sur chaque cellule du réseau est acheminé vers la sortie avec un sous-modèle 1-D prenant en compte le réseau fluvial. (cf. figure n°56 ⁽¹³⁾).

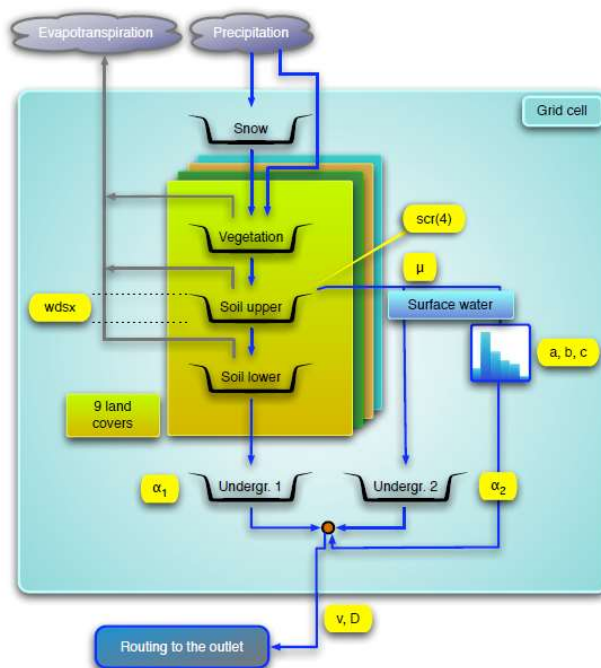


Figure 56 : schéma des mécanismes du modèle SCHEME ⁽¹³⁾

Les données climatiques utilisées dans le cadre du projet CCI-HYDR ont été obtenues en transformant les données météorologiques observées sur la base d'une variante de la méthode delta change (cf. figure n°57 ⁽¹³⁾).

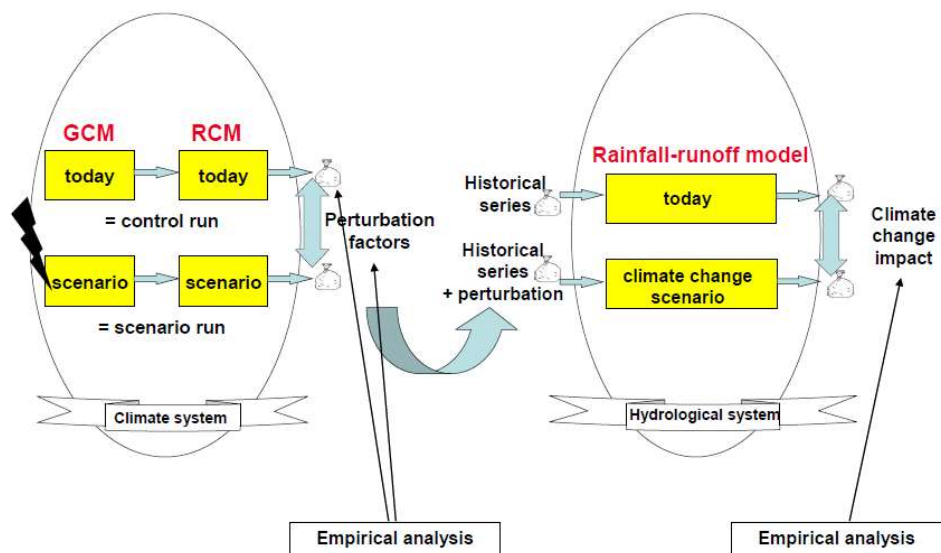


Figure 57 : principe de production des données climatiques utilisées pour les calculs avec SCHEME ⁽¹³⁾

Les facteurs de transformations appliqués aux données météorologiques observées ont été obtenus à partir des résultats issus du projet européen PRUDENCE ⁽¹⁴⁾ où 11 RCM ont été utilisés pour réaliser une descente d'échelle dynamique des données climatiques produites par 4 GCM différents selon les scénarios d'émission de gaz à effet de serre A2 et B2 (cf. tableau n°15 ⁽¹³⁾).

Tableau 15 : données climatiques utilisées pour calculs hydrologiques réalisés avec SCHEME (13)

| MEMBER | SCENARIO | RESOLUTION (Km) | SCENARIO | GCM | RCM |
|--------|-------------|-----------------|----------|-------------|---------|
| SMHI | SMHI-MPI-A2 | 49 | A2 | ECHAM4/OPYC | RCAO |
| | SMHI-MPI-B2 | 49 | B2 | ECHAM4/OPYC | |
| | SMHI-HC-22 | 24 | A2 | HadAM3H | |
| | SMHI-A2 | 49 | A2 | HadAM3H | |
| | SMHI-B2 | 49 | B2 | HadAM3H | |
| KNMI | KNMI | 47 | A2 | HadAM3H | RACMO |
| METNO | METNO-A2 | 53 | A2 | HadAM3H | HIRHAM |
| | METNO-B2 | 53 | B2 | HadAM3H | |
| DMI | DMI-S25 | 25 | A2 | HadAM3H | HIRHAM |
| | DMI-ecsc-A2 | 50 | A2 | ECHAM4/OPYC | |
| | DMI-ecsc-B2 | 50 | B2 | ECHAM4/OPYC | |
| | DMI-HS1 | 50 | A2 | HadAM3H | |
| | DMI-HS2 | 50 | A2 | HadAM3H | |
| | DMI-HS3 | 50 | A2 | HadAM3H | |
| ETH | ETH | 55 | A2 | HadAM3H | CHRM |
| HC | HC-adhfa | 50 | A2 | HadAM3P | HadRM3P |
| | HC-adhfe | 50 | A2 | HadAM3P | |
| | HC-adhff | 50 | A2 | HadAM3P | |
| | HC-adhfd-B2 | 50 | B2 | HadAM3P | |
| MPI | MPI-3005 | 55 | A2 | HadAM3H | REMO |
| | MPI-3006 | 55 | A2 | HadAM3H | |
| CNRM | CNRM-DC9 | 59 | A2 | ARPEGE | ARPEGE |
| | CNRM-DE5 | 59 | A2 | ARPEGE | |
| | CNRM-DE6 | 59 | A2 | ARPEGE | |
| | CNRM-DE7 | 59 | A2 | ARPEGE | |
| GKSS | GKSS-SN | 55 | A2 | HadAM3H | CLM |
| | GKSS | 55 | A2 | HadAM3H | CLM |
| ICTP | ICTP-A2 | 52 | A2 | HadAM3H | RegCM |
| | ICTP-B2 | 52 | B2 | HadAM3H | RegCM |
| UCM | UCM-A2 | 52 | A2 | HadAM3H | PROMES |
| | UCM-A2 | 52 | B2 | HadAM3H | |

Les figures n°58 et 59 montrent l'évolution calculée pour les stations de Angleur (Ourthe) et de Chooz (Meuse) du nombre de jours pour lesquels le débit journalier est inférieur au percentile 0.05. Le tableau n°16 synthétise ces résultats pour l'ensemble des stations du projet CCH-HYDR.

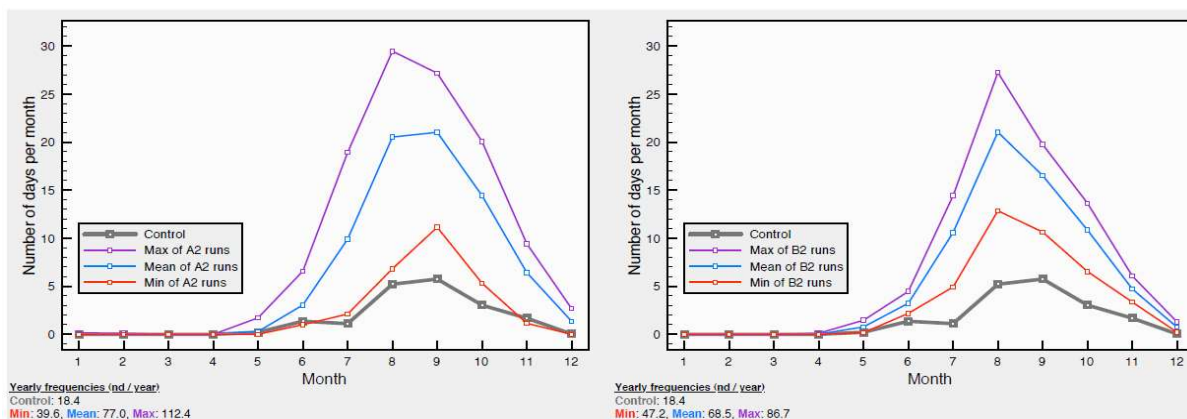


Figure 58 : évolution du nombre de jours pour lesquels le débit journalier est inférieur au percentile 0.05 pour l'Ourthe à Angleur scénarios A2 à gauche et B2 à droite (13)

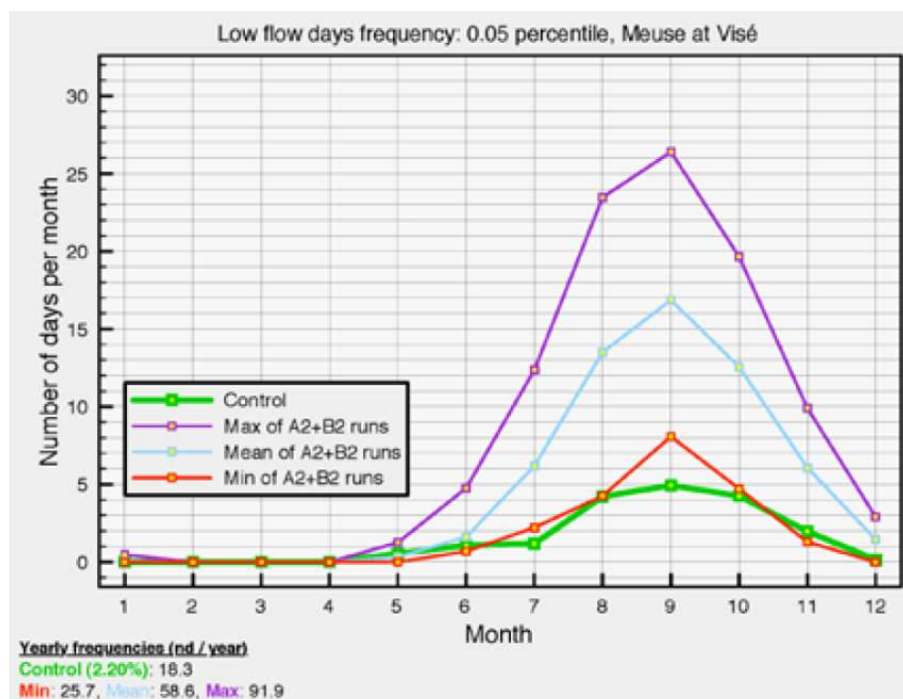


Figure 59 : évolution du nombre de jours pour lesquels le débit journalier est inférieur au percentile 0.05 pour la Meuse à Chooz pour l'ensemble des scénarios A2 et B2 à droite (13)

Tableau 16 : évolution du nombre de jours pour lesquels le débit journalier est inférieur au percentile 0.05 pour les stations du projet CCH-HYDR et l'ensemble des scénarios A2 et B2 à droite (13)

| | Control | Scenario | | | Change (%) | |
|-------------------|----------------------------|-----------------------|------|---------|------------|-------|
| | | Minimum | Mean | Maximum | | |
| Scheldt | Scheldt at Antwerp | 18.5 | 26.6 | 60.3 | 95.1 | 225.9 |
| | Scheldt at Asper | 18.4 | 24.9 | 54.5 | 90.2 | 196.2 |
| | Demer at Diest | 18.3 | 31.0 | 60.8 | 94.7 | 232.2 |
| | Dendre | 18.6 | 29.8 | 60.3 | 89.4 | 224.2 |
| | Dijle at Wilsele | 18.4 | 19.5 | 93.8 | 156.5 | 409.8 |
| | Grote Nete at Hulshout | 18.3 | 28.1 | 55.6 | 84.1 | 203.8 |
| | Kleine Nete at Grobbendonk | 18.3 | 24.5 | 53.2 | 81.3 | 190.7 |
| | Leie at St Baafs | 18.5 | 15.8 | 42.8 | 73.6 | 131.4 |
| | Zenne at Epegem | 18.4 | 28.1 | 73.1 | 113.8 | 297.3 |
| | Meuse | Ambleve at Martinrive | 18.4 | 43.0 | 88.0 | 130.8 |
| Meuse at Chooz | | 18.5 | 20.9 | 48.4 | 77.5 | 161.6 |
| Ourthe at Angleur | | 18.4 | 39.6 | 74.9 | 112.4 | 307.1 |
| Ourthe at Tabreux | | 18.3 | 35.2 | 71.2 | 105.4 | 289.1 |
| Sambre at Namur | | 18.4 | 29.8 | 56.7 | 86.0 | 208.2 |
| Vesdre | | 18.6 | 30.4 | 58.7 | 92.4 | 215.6 |
| Meuse at Visé | | 18.3 | 25.7 | 58.6 | 91.9 | 220.2 |

11. Conclusions et recommandations

11.1 Débits

Les étiages – tout comme les crues – sont des événements hydrologiques naturels qui se produisent à des intervalles irréguliers avec des intensités diverses.

Les cours d'eau du bassin de la Meuse dans leur ensemble sont caractérisés par un régime des eaux pluvial. Cela signifie que la quantité d'eau dans la Meuse et ses affluents dépend principalement des précipitations. Les débits moyens atteignent leur maximum en hiver ou au printemps et sont les plus bas à l'automne en raison de la diminution estivale des précipitations et de l'augmentation de l'intensité de l'évaporation due à la température et à la croissance végétale.

Il y a eu et il y aura toujours à nouveau des phases durant lesquelles les étiages des cours d'eau du bassin de la Meuse se répèteront – par exemples les années extrêmement sèches de 1964 et 1976.

Les États et régions dans le bassin versant de la Meuse (Allemagne, France, Luxembourg, Flandres, Wallonie et Pays-Bas) utilisaient jusqu'à présent des paramètres hydrologiques différents pour l'observation et le suivi des étiages. Un travail de coopération international nécessite toutefois de pouvoir se mettre d'accord à l'échelle du bassin sur un paramètre et des valeurs seuils communs pour caractériser le phénomène étiage. Après avoir comparé les paramètres hydrologiques utilisés le plus fréquemment, les membres du groupe de travail « hydrologie-inondation » se sont entendus sur l'utilisation pour le suivi des étiages du débit moyen sur les 7 derniers jours (M7Q).

Les États et régions dans le bassin versant de la Meuse se sont également mis d'accord sur une classification en 5 catégories pour la représentation de l'intensité de l'étiage qui est aussi utilisée par les deux commissions internationales fluviales riveraines du Rhin (CIPR) et de Moselle-Sarre (CIPMS), les valeurs seuils étant fixées sur la base des données statistiques du paramètre VCN7. VCN7 est la moyenne arithmétique la plus basse calculée sur les sept jours consécutifs d'une période donnée, dans le présent cas sur une année civile (Figure 60).

| | | | | |
|----------------------------|----------------------------------|----------------------------|-----------------------------|--|
| ETIAGE FRÉQUENT | ETIAGE MOINS FRÉQUENT | ETIAGE RARE | ETIAGE TRÈS RARE | ETIAGE EXTRÊMEMENT RARE |
| VCN7 T = 2 ans | VCN7 T = 5 ans | VCN7 T = 10 ans | VCN7 T = 20 ans | VCN7 T = 50 ans |

Figure 60 : Valeurs seuils de débit utilisées pour qualifier l'intensité de l'étiage

L'apparition des étiages est un processus naturel causé principalement par un déficit pluviométrique, qui se produira probablement plus souvent à l'avenir en raison du changement climatique. Il ressort de l'analyse qu'outre le déficit pluviométrique, l'utilisation des eaux de surface pour les activités anthropiques (prélèvements et dérivations) exerce également un effet sur l'ampleur des étiages.

Dans le bassin, l'utilisation augmente avec la densité de population et l'activité économique selon un gradient Sud-Nord conduisant à une accentuation de la réduction des débits à l'étiage.

Recommandations :

- a) Les résultats du suivi hebdomadaire des étiages réalisé au sein de la CIM sont diffusés jusqu'à présent uniquement aux spécialistes désignés dans les États et régions dans le bassin versant de la Meuse. Une diffusion plus large de ces résultats vers le grand public via le site internet de la CIM selon des modalités encore à définir semble être utile pour développer la prise de conscience des riverains sur l'importance de ce phénomène.
- b) Si pour le suivi en commun des étiages réalisé hebdomadairement au niveau de la CIM, la Meuse dispose de stations hydrologiques réparties sur l'ensemble de son cours qui permettent de voir l'évolution des débits dans les différents États et régions qu'elle traverse, tel n'est pas encore le cas pour ses affluents frontaliers/transfrontaliers qui soit n'ont pas encore été intégrés à ce suivi ou soit ne dispose d'un suivi que sur une partie de leur linéaire. Une extension du réseau de suivi en commun des étiages sur les affluents (trans)frontaliers de la Meuse pourrait être utile pour développer la connaissance dans ce domaine.

11.2 Impact des étiages sur les états chimique et écologique des masses d'eau de surface aux frontières

L'étiage est une période habituelle du cycle hydrologique naturel des cours d'eau. Le fonctionnement biologique et les équilibres écologiques se sont construits avec cette contrainte et les organismes ont développé des stratégies d'adaptation afin de résister à ces périodes de stress. Les altérations surviennent en raison de perturbations dues aux activités humaines – telles que les prélèvements d'eau, les rejets ou les retenues d'eau. Ces altérations peuvent accentuer le stress causé par l'étiage et mettre en péril les équilibres naturels. Des conséquences possibles sont la rupture de la continuité écologique ou bien une baisse importante de la teneur d'oxygène dans l'eau, le réchauffement supplémentaire de l'eau, le ralentissement de l'écoulement ou la stratification de la colonne d'eau. La concentration de certains polluants dans les cours d'eau peut augmenter, mais un lien direct avec la baisse des débits n'existe pas toujours. En effet, en période d'étiage, les flux fortement liés aux précipitations sont fortement réduits (ruissellement urbain, pollutions diffuses agricoles, etc.). En cas de fortes pluies suite à une sécheresse prolongée, un apport brutal de pollution est en revanche possible.

Les données des 38 stations du réseau de mesure homogène (RMH) du bassin de la Meuse (fréquence de prélèvement : tous les mois, tous les ans, tous les trois ans) ne peuvent actuellement pas être mises en regard dans tous les cas avec les résultats du suivi hebdomadaire des étiages de la CIM. Néanmoins, certaines stations de mesure montrent que les paramètres physico-chimiques généraux, entre autres la teneur en oxygène de l'eau, peuvent être bons et stables même avec des épisodes hydrologiques marqués. Il n'est pas possible à l'heure actuelle de pronostiquer, à priori, la qualité de l'eau en situation d'étiage car les notions de quantité et de qualité de l'eau ne sont pas forcément liées.

Recommandations :

- c) Dans le cadre de l'élaboration du 3^{ème} plan de gestion au titre de la DCE, les Etats et Régions de la CIM devraient intensifier leurs échanges sur les masses d'eau de surface situées dans les régions frontalières dont les débits réduits sont considérés comme un facteur responsable de la non-atteinte du bon état ainsi que sur les mesures prévues pour initier une amélioration quantitative. A ce niveau, un travail complémentaire devrait être mené à l'avenir au sein de la CIM
- d) Il serait également nécessaire de poursuivre l'examen des besoins actuels et futurs de coordination bi- ou multilatérale dans le domaine de la gestion des crises en situation d'étiage exceptionnel.
- e) Il apparaît nécessaire de tenir compte des résultats du travail d'analyse concernant le lien entre les étiages et l'état des masses d'eau de surface à la frontière pour l'actualisation du plan de gestion faîtier du district international de la Meuse et de renouveler ce travail à chaque cycle de mise en œuvre de la directive cadre sur l'eau.
- f) Il convient de vérifier si les réseaux sont à même de répondre aux questions soulevées ici concernant les étiages. Il est en outre à conseiller de procéder à une analyse plus détaillée basée sur des séries chronologiques si possible plus complètes et, le cas échéant, pour davantage de paramètres. Les séries de mesures en continu se prêtent parfaitement à cet exercice.
- g) Afin de pouvoir mettre en regard les résultats de suivi de la qualité dans le bassin de la Meuse avec la situation hydrologique des cours d'eau, il est recommandé de coordonner toute extension du réseau actuel de suivi en commun des étiages de la CIM avec la localisation des stations du réseau de mesure homogène (RMH) du bassin de la Meuse.

11.3 Impact des étiages sur les différents usages des eaux de surface

L'eau de la Meuse est utilisée pour un certain nombre d'usages (alimentation en eau potable, navigation, industrie, agriculture) pour lesquels les besoins augmentent d'amont en aval à mesure que les débits naturels augmentent du fait de l'accroissement de son bassin versant et des apports de ses affluents.

La différence entre les débits naturels et les débits les plus bas mesurés (VCN7) augmente vers l'aval, ce qui correspond à une augmentation de la consommation d'eau dans cette même direction.

Ces activités humaines peuvent également pâtir des étiages, par exemple lorsque les prélèvements d'eau potable ou industrielle, la navigation ou les activités de loisir doivent être limités.

Les prélèvements ou dérivations d'eau pouvant avoir un impact transfrontalier sur les débits d'étiage de la Meuse font déjà l'objet d'accords internationaux. Par ailleurs, les États et régions dans le bassin versant de la Meuse prennent également des mesures de gestion courante des usages de l'eau sur leur territoire afin de faire face aux situations d'étiage.

Les projets de stockage, prélèvement ou dérivation d'eaux de surface pouvant réduire de manière significative en amont ou en aval les débits d'étiage dans les autres pays ou régions du bassin sont coordonnés dans le cadre des évaluations d'incidence au titre de la directive européenne concernant l'évaluation des incidences de certains projets publics et privés⁸ afin de pouvoir assurer un consensus entre les parties concernées.

Recommandations :

- h) Les Etats et Régions de la CIM devraient s'informer mutuellement en temps voulu des projets nationaux importants impliquant des effets transfrontaliers prévisibles sur les débits de la Meuse et/ou de ses affluents même lorsque ceux-ci sont coordonnés dans le cadre d'accords bilatéraux et de la mise en œuvre de la directive concernant l'évaluation des incidences de certains projets publics et privés.

⁸ Directive 2011/92/UE concernant l'évaluation des incidences de certains projets publics et privés

11.4 Effets potentiels du changement climatique sur l'évolution des débits d'été

Les études réalisées sur l'impact potentiel du changement climatique sur le régime des cours d'eau du bassin de la Meuse ne fournissent pas toujours des informations sur l'évolution du paramètre VCN7 utilisé actuellement comme référence au sein de la CIM ou ne permettent pas toujours d'évaluer les incertitudes des chaînes de modélisation hydro-climatique utilisées en comparaison des résultats observés ou en ce qui concerne les évolutions des débits dans le temps.

Toutefois, toutes ces études réalisées de manière indépendante, avec des modèles hydrologiques et climatiques différents montrent qu'**une réduction des débits à l'été est à attendre dans le futur même avec les scénarios de réduction des émissions de gaz à effet de serre les plus optimistes.**

Pour faire face à ces modifications, les Etats et régions du bassin de la Meuse se sont tous engagés dans l'élaboration et/ou la mise en œuvre de plans d'adaptation au changement climatique sur leur territoire de compétence.

Recommandations :

- i) Afin de mieux apprécier la situation actuelle d'une part et les modifications des écosystèmes et des usages résultant de l'augmentation de la température et de la réduction probable des débits des cours d'eau, il est conseillé de développer les dispositifs de suivi en continu de la température des masses d'eau de surface frontalières du bassin de la Meuse.
- j) Il est également recommandé de poursuivre au sein du groupe de travail « hydrologie-inondation » de la CIM les échanges réguliers d'information et d'expérience sur les projets d'étude concernant l'impact potentiel du changement climatique engagés sur les projets futurs ou en cours (CHIMERE 21 par exemple).

Bibliographie/Références

- (01) European Commission, 2009 - Technical Report – 2009-027 – Common implementation strategy for the water framework directive (2000/60/EC) – Guidance document n°20 on exemptions to the environmental objectives.
- (02) European Commission, 2008 - Technical Report – 2008-023 – Drought management plan report including agricultural, drought indicators and climate change aspects.
- (03) European Commission, 2008 - Technical Report – 2008-023 - CIS Water Scarcity and Droughts Expert Network
- (04) De Wit, Marcel, 2008 : Gouttes de pluies, flux de Meuse. Une gestion transnationale de l'eau par temps sec et humide
- (05) AMICE 2010 - Analysis of climate change, high-flows and low-flows scenarios on the Meuse basin: <http://amice-project.eu>
- (06) Haylock et al. – 2008, European Climate Assessment & Dataset project
- (07) KNMI (Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut), 2015: KNMI'14 climate scenarios for the Netherlands – Revised edition
- (08) F. Sperna Weiland, M. Hegnauer, L. Bouaziz, JJ. Beersma - Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut - Implications of the KNMI'14 climate scenarios for the discharge of the Rhine and Meuse - Comparison with earlier scenario studies
- (09) P. Stollsteiner, 2012 - Changement climatique - EXPLORE 2070 - BRGM/RP-61483-FR-vol 1.
- (10) Agence wallonne de l'air et du climat, 2011 - L'adaptation au changement climatique en région wallonne
https://www.awac.be/pdf/media/d45dc9_97c534cbdfdafc54dcee21feeea9f51c.pdf
- (11) Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen, 2016 - Klimawandel und Klimafolgen in Nordrhein-Westfalen - Ergebnisse aus den Monitoringprogrammen 2016 - LANUV-Fachbericht 74
- (12) MIRA, 2015 - Actualisatie en verfijning klimaatscenario's tot 2100 voor Vlaanderen, Milieurapport Vlaanderen Onderzoeksrapport MIRA/2015/01
- (13) Baguis P., Roulin E., Willems P., Ntegeka V., 2010 - Climate change and hydrological extremes in Belgian catchments - Hydrology and Earth System Sciences Discussions
- (14) Christensen et al., 2007 - Prediction of Regional scenarios and Uncertainties for Defining European Climate change risks and Effects - <http://prudence.dmi.dk>