Revue Géographique de l'Est

vol. 51 / 3-4 | 2011
Hydrosystèmes et enjeux de gestion

Sévérité des étiages et indigence des précipitations : une relation évidente mais rarement simple - Exemple en régime pluvial océanique

Low flows and rainfall: an obvious but complex relation – example in pluvial hydrological regime

Claire Lang Delus

Édition électronique
URL : http://journals.openedition.org/rge/3455
ISSN : 2108-6478

Éditeur
Association des géographes de l'Est

Édition imprimée
Date de publication : 23 août 2011
ISSN : 0035-3213

Référence électronique
Claire Lang Delus, « Sévérité des étiages et indigence des précipitations : une relation évidente mais rarement simple - Exemple en régime pluvial océanique », *Revue Géographique de l'Est* [En ligne], vol. 51 / 3-4 | 2011, mis en ligne le 28 août 2012, consulté le 07 septembre 2020. URL : http://journals.openedition.org/rge/3455

Ce document a été généré automatiquement le 7 septembre 2020.

Tous droits réservés

Sévérité des étiages et indigence des précipitations : une relation évidente mais rarement simple - Exemple en régime pluvial océanique

Low flows and rainfall: an obvious but complex relation – example in pluvial hydrological regime

Claire Lang Delus

Introduction

1 Les étiages sont des événements hydrologiques à la genèse particulièrement longue. Ainsi, si le lien entre un épisode pluvieux et l'augmentation du niveau de l'eau dans les cours d'eau est facile à établir, les processus inhérents aux bas débits sont plus difficiles à appréhender et ont d'ailleurs donné lieu, par le passé, à de nombreuses théories. Comme le souligne Roche (1969), « l'idée simple que la pluie pouvait être à l'origine de toutes les eaux coulant dans les rivières a mis longtemps à faire son chemin » et les interprétations sur l'origine de l'eau dans les rivières ont été nombreuses.

2 Parmi les théories les plus célèbres, on peut citer la thèse des canaux souterrains qui fut défendue par Léonard De Vinci : « le corps de la terre, comme celui des animaux, est traversé de réseaux de veines toutes reliées entre elles et faites pour donner vie et nourriture à la terre et ses créatures » (cité par Gohau, 1987), puis finalement réfutée par ce dernier qui admit : « l'eau des rivières vient des nuages ». Mais si le rapport entre l'eau des pluies et les crues des rivières parut facile à établir, la provenance de l'eau dans les cours d'eau après de longues périodes sans précipitations restait énigmatique : « il faut un sérieux effort d'imagination pour penser qu'il puisse y avoir

un rapport quelconque entre les deux » (Roche, 1969). Dans cette réflexion il faut citer Bernard Palissy qui présenta très tôt une alimentation des sources par les pluies : « quand j'ai eu bien longtemps et de près considéré la cause des sources des fontaines naturelles et le lieu de là où elles pouvaient sortir, enfin j'ai connu directement qu'elles ne procédaient et n'étaient engendrées sinon des pluies » (Palissy, 1580). La théorie moderne a été formulée trois siècles plus tard en 1856 par le chevalier Henry de Darcy qui observait les fontaines de Dijon.

3 Si ces concepts fondamentaux du cycle de l'eau sont aujourd'hui communément admis, les processus liés à l'apparition des étiages restent difficiles à appréhender du fait de la genèse particulièrement lente de ces phénomènes.

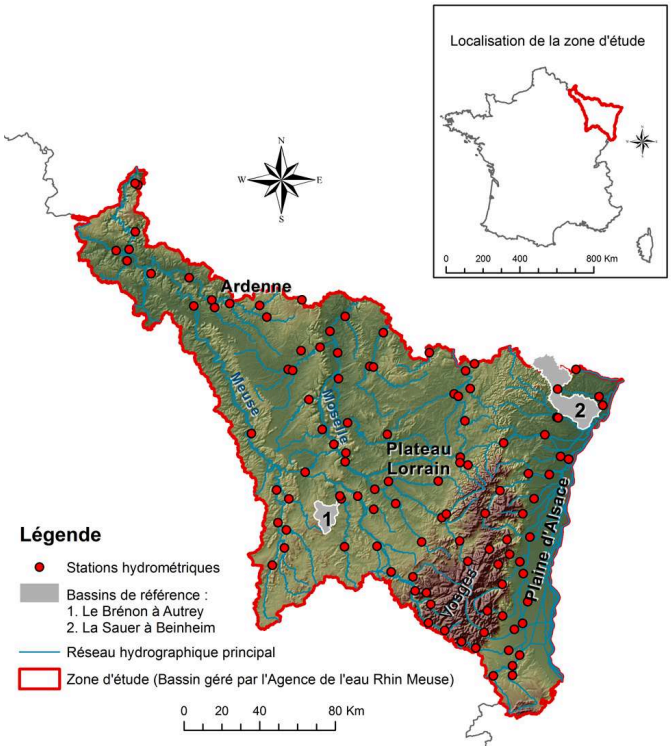
4 Nous nous intéressons ici aux modalités de genèse des étiages et à la diversité des écoulements de cours d'eau de l'Est de la France, aux régimes hydrologiques pluviaux océaniques. Dans cette région, les étiages très sévères sont peu fréquents, 1976 et 2003 constituant les deux événements de référence. Par contre, les impacts environnementaux et économiques de tels épisodes peuvent être particulièrement graves, car ces régions sont peu habituées et mal préparées à ce type d'événements. La sécheresse exceptionnelle de 2003 a ainsi incité les services gestionnaires à se doter d'outils pour la prévision des débits d'étiage, afin d'améliorer l'anticipation et la gestion de ces crises. Il s'agit ici d'analyser le rôle des précipitations mais aussi celui de la géologie, deux critères déterminants pour expliquer les écoulements d'étiage et ainsi pouvoir les prévoir.

I. Genèse des étiages en régime pluvial océanique

A. Contexte

5 Le domaine d'étude se situe dans l'Est de la France (fig. 1), en marge orientale du Bassin Parisien jusqu'au Fossé Rhénan et comprend des milieux variés où les reliefs des massifs anciens (Vosges et Ardenne) contrastent avec les plaines et les plateaux du Bassin Parisien. Ce secteur présente une relative homogénéité hydro-climatique qui garantit des régimes hydrologiques similaires de type pluviaux-océaniques.

Figure 1 : Localisation du domaine d'étude et des bassins versants du Brénon (à la station d'Autrey) et de la Sauer (à la station de Beinheim)

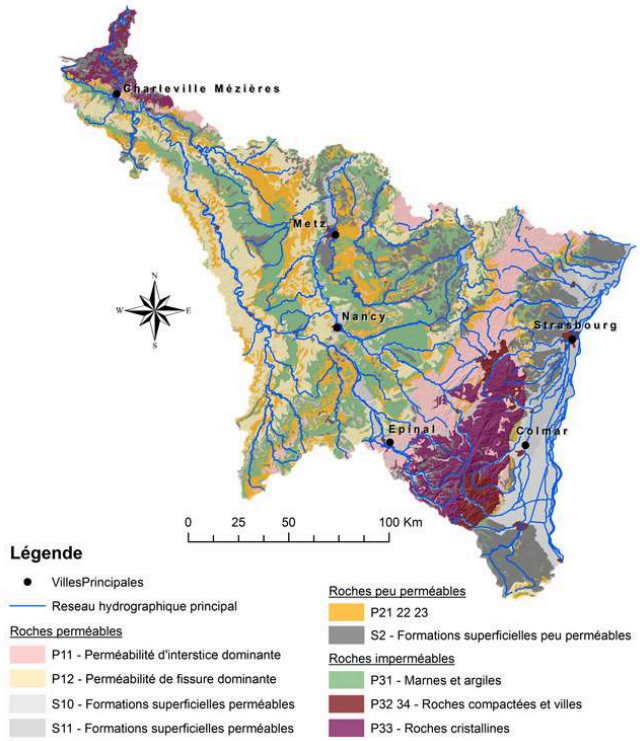


6 Le secteur étudié constitue une zone de transition entre le climat océanique et le climat continental. Sur le Plateau Lorrain, on observe un climat océanique de transition. Le massif vosgien constitue la première barrière orographique sérieuse aux masses d'air océaniques. Le climat océanique ainsi que l'influence montagnarde marquent donc le climat des Vosges. La Plaine d'Alsace montre à l'inverse une tendance continentale. Les précipitations moyennes annuelles sont de l'ordre de 750 mm à Metz, mais elles augmentent rapidement sur le massif vosgien, avec près de 1000 mm enregistrés à Epinal, 1500 mm à Remiremont et plus de 2000 mm sur les sommets. Ces valeurs de précipitations sont à l'origine de débits spécifiques d'étiage particulièrement abondants sur les bassins amont situés dans les Vosges.

7 Les ensembles morphostructuraux sont caractérisés par des milieux géologiques que l'on peut regrouper en trois principales entités : le Plateau Lorrain, qui alterne essentiellement entre des régions calcaires et des régions argileuses et marneuses ; les Vosges, qui se subdivisent en deux grands ensembles commandés par la géologie : les Vosges gréseuses au nord et les Vosges cristallines au sud ; la Plaine d'Alsace, qui correspond à un fossé tectonique remblayé par des formations plio-quaternaires pouvant atteindre 200 m d'épaisseur. Cette diversité géologique induit des contrastes de perméabilité (fig. 2) qui jouent un rôle majeur dans la formation des écoulements. Ainsi, le Plateau Lorrain est essentiellement modelé dans des formations imperméables ou peu perméables (P31 et P21-22-23). Les Vosges sont caractérisées par les classes P11 et P33 : P11 correspond aux Vosges gréseuses, représentées par les grès du Trias inférieur, et aux grès du Lias inférieur d'Ardenne-Luxembourg ; P33 correspond aux roches imperméables, plus particulièrement aux roches des Vosges cristallines (socle du massif vosgien). On en retrouve également en aval de la Meuse dans le massif

ardennais (socle ardennais). La classe S11 est présente en Plaine d'Alsace et en fond de vallée de nombreux cours d'eau (alluvions).

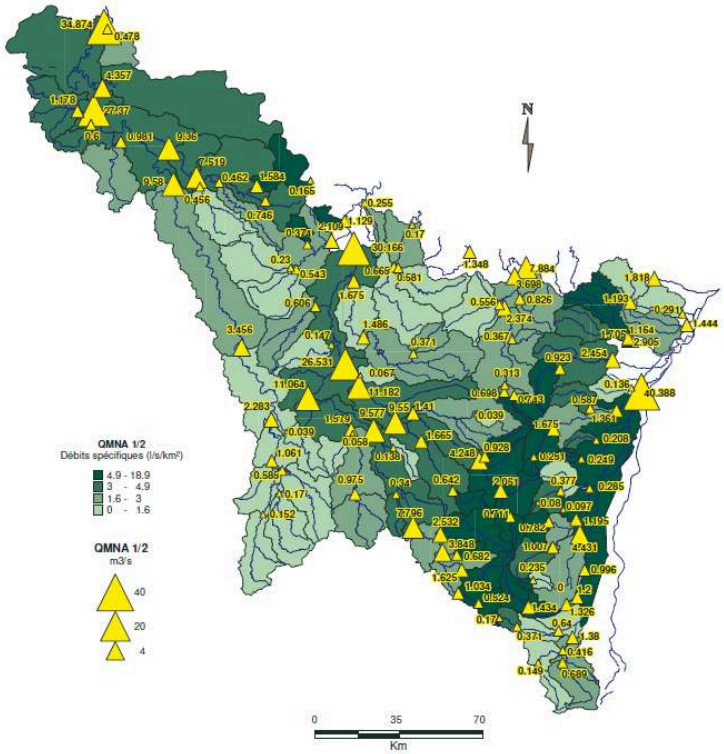
Figure 2 : Atlas des perméabilités



Source : Atlas de la perméabilité du bassin Rhin-Meuse, 1989

8 Ces contrastes de perméabilité, associés aux diversités climatiques, ont un rôle déterminant dans l'explication de la variabilité des écoulements d'étiage dans le domaine étudié. Les débits d'étiage montrent en effet une diversité spatiale assez marquée à l'échelle du territoire d'étude et les valeurs les plus fortes apparaissent dans les Vosges et les Ardenne (fig. 3).

Figure 3 : Variabilité spatiale des débits d'étiage



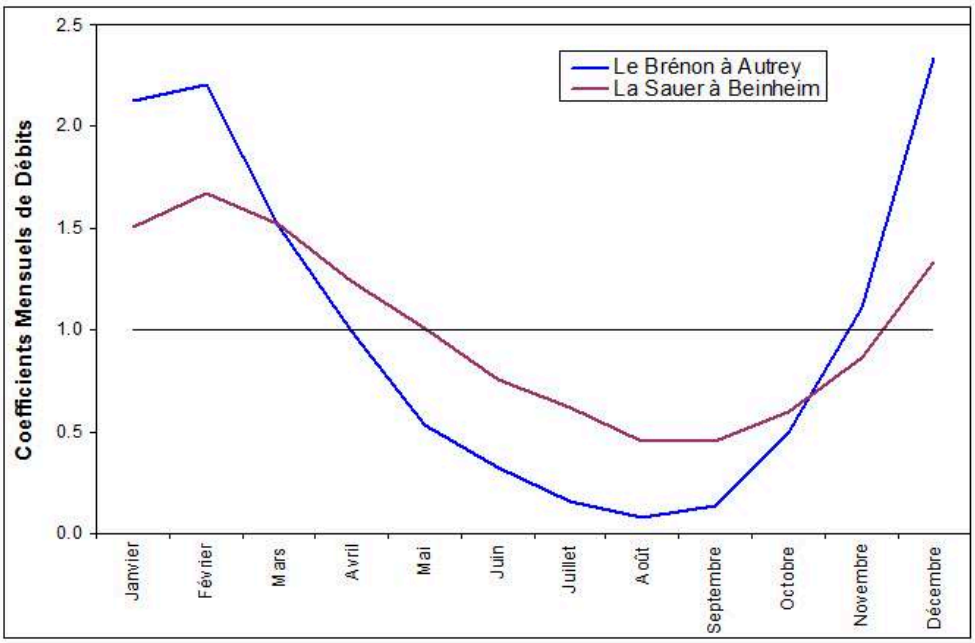
Source : Rapport PRESAGES, CEGUM-AERM, 2006

9 Deux bassins versants aux rendements d'étiage très différents sont plus particulièrement analysés pour comprendre cette diversité dans les écoulements : d'une part, le bassin versant du Brénon, caractérisé par un substrat essentiellement imperméable (marnes et argiles) et des étiages marqués ; d'autre part, le bassin versant de la Sauer, qui s'écoule sur des formations perméables (Grès vosgien à l'amont), favorables à l'infiltration et au soutien des débits en période d'étiage (fig. 1).

B. Période d'apparition des basses eaux et des étiages dans la zone d'étude

10 En régime pluvial océanique, les cours d'eau enregistrent leurs hautes eaux en période hivernale et leurs basses eaux en période estivale. La diminution des débits de basses eaux s'explique essentiellement par la hausse des températures qui génère une augmentation des prélèvements évapotranspiratoires. Les régimes hydrologiques du Brénon et de la Sauer respectent ce modèle, mais montrent des différences notables en terme de pondération (fig. 4) : le Brénon apparaît très immodéré, avec des écarts importants entre les débits extrêmes, alors que la Sauer présente un régime plus pondéré. Ces deux cours d'eau vont donc présenter des régimes d'étiage très singuliers.

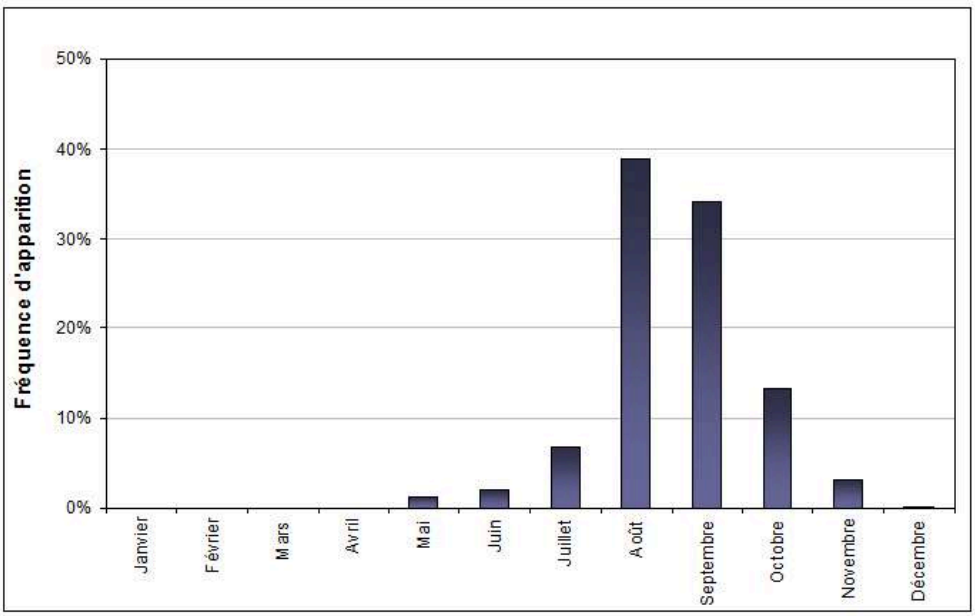
Figure 4 : Régimes hydrologiques du Brénon et de la Sauer (1971-2003)



Source : données de la Banque HYDRO

11 L'étiage peut être défini comme le « débit exceptionnellement faible d'un cours d'eau, qu'il ne faut pas confondre avec les basses eaux saisonnières, même s'il en est l'exacerbation » (Dacharry, 1996). En France, la variable classiquement utilisée pour caractériser les étiages des cours d'eau est le QMNA (débit moyen mensuel le plus bas de l'année)[1]. Les étiages apparaissent le plus souvent, dans le domaine étudié, aux mois d'août ou de septembre (fig. 5).

Figure 5 : Fréquence d'occurrence du QMNA



Statistique réalisée à partir de l'ensemble des stations hydrométriques (fig. 1)
Source : données de la Banque HYDRO

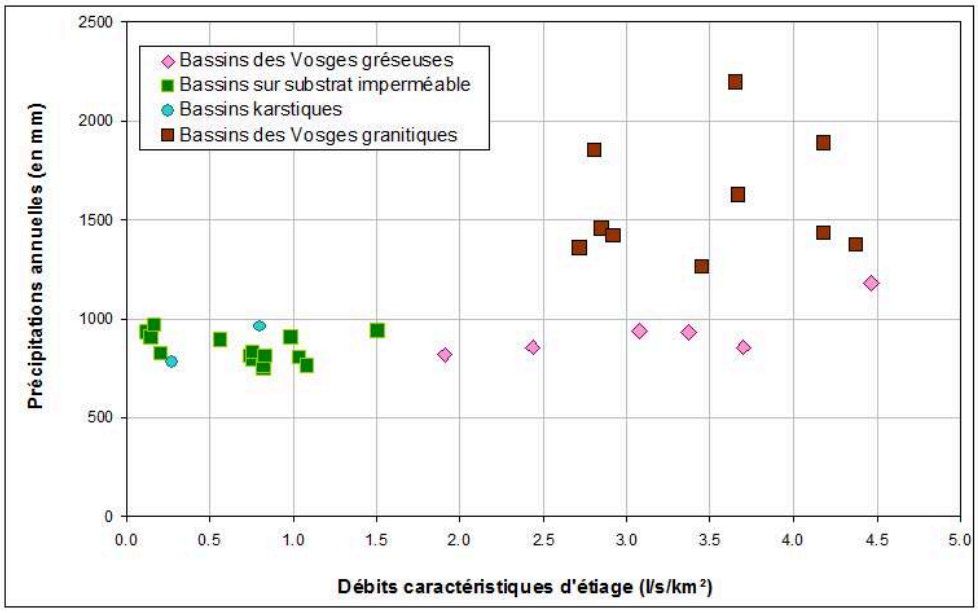
12 Cependant, si les débits d'étiage apparaissent généralement en période estivale, voire automnale, les processus inhérents à leur genèse peuvent remonter aux saisons antérieures. Cette genèse particulièrement longue explique la difficulté à déterminer les facteurs de leur apparition et de leur sévérité.

C. Des débits d'étiage conditionnés par les précipitations et la géologie

13 Les valeurs d'étiage dans le domaine d'étude peuvent être observées à partir du Débit Caractéristique d'Etiage (DCE)[2] exprimé en débit spécifique (l/s/km²) pour permettre une caractérisation et une interprétation en terme de rendement hydrologique. En s'appuyant sur une trentaine de petits bassins versants représentatifs du domaine étudié, on obtient des valeurs qui s'échelonnent de 0,13 à 4,47 l/s/km². Pardé indique que « dans le régime pluvial, les valeurs types des étiages extrêmes sont de 0,5 à 1,5 l/s/km² » (1963). La figure 6 montre qu'en s'appuyant sur la définition de Pardé, seule la moitié des bassins connaîtrait des étiages extrêmes. Cette figure souligne également le rôle combiné de la géologie et des précipitations pour expliquer la diversité des débits d'étiage. Une régionalisation en trois groupes de bassins apparaît :

- En vert, les bassins imperméables aux débits d'étiage très indigents, car peu soutenus par des apports souterrains ;
- En brun, les bassins imperméables des Vosges granitiques, aux débits d'étiage élevés, car alimentés par des précipitations régulières et abondantes ;
- En rose, les bassins perméables des Vosges gréseuses, aux débits caractéristiques abondants, car alimentés par la nappe des grès qui assure le soutien des débits en étiage.

Figure 6 : Régionalisation des Débits Caractéristiques d'Etiage en fonction des précipitations annuelles et de la géologie



14 Les bassins versants du Brénon et de la Sauer enregistrent respectivement des Débits Caractéristiques d'Etiage de 0,15 et 1,91 l/s/km². Les précipitations annuelles ne permettent pas d'expliquer cet écart, d'autant plus que le bassin du Brénon est

légèrement plus arrosé que celui de la Sauer (précipitations moyennes annuelles de l'ordre de 900 mm sur le Brénon contre 820 mm sur la Sauer). L'abondance des écoulements d'étiage de la Sauer est en effet liée à la présence de la nappe des Grès vosgien, qui garantit une alimentation régulière du cours d'eau en période d'étiage. A l'inverse, l'indigence des écoulements du Brénon s'explique par le contexte imperméable de ce bassin qui bénéficie peu d'apports souterrains, et subit donc des étiages marqués.

15 La diversité des écoulements d'étiage dans le domaine étudié est donc essentiellement liée au contexte géologique des bassins versants, compensé dans certains cas par la pluviométrie (bassins très arrosés des Vosges granitiques). Si l'on s'intéresse par contre aux valeurs d'étiage annuels et notamment à des événements exceptionnels type 1976 ou 2003, on constate que leur genèse est avant tout liée à un déficit pluviométrique ; comme le montrent également Larue et Giret sur les cours d'eau du bassin de la Maine (2006), la géologie interviendra au sens où les bassins versants qui bénéficient de réservoirs souterrains capacitifs seront moins fortement touchés. Cependant, si le lien entre étiages exceptionnels et précipitations faibles est évident, la quantification de cette relation n'est pas toujours facile.

II. Relation entre précipitations et sévérité des étiages

A. Les précipitations mensuelle et journalière : deux échelles de travail complémentaires pour l'analyse des étiages

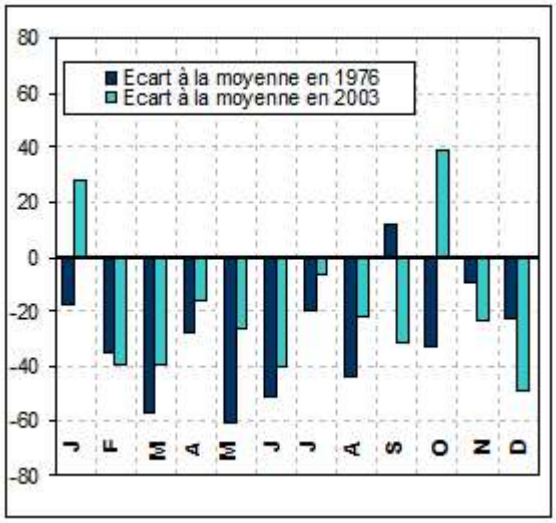
16 La genèse des étiages est associée à des processus qui peuvent se préparer plusieurs mois avant la période de basses eaux et qui se prolongent durant la période estivale. Il est donc possible d'évaluer assez tôt une situation à partir des précipitations enregistrées durant les périodes hivernales et printanières, favorables à la recharge des nappes. Il s'agit en effet d'un facteur pouvant s'avérer déterminant dans la gravité d'un étiage, puisque, selon les niveaux des réservoirs souterrains au début de la période de basses eaux, le cours d'eau sera plus ou moins bien alimenté en étiage. Par contre, durant la période de basses eaux, c'est le nombre de jours sans pluie qui devient déterminant, car durant ces séquences sèches, les cours d'eau se tarissent et peuvent voir leurs débits diminuer rapidement. L'analyse des processus inhérents à la genèse des étiages repose donc sur le lien entre l'importance des précipitations de hautes eaux qui rechargent les nappes et vont permettre de soutenir les débits durant les périodes sèches de l'été.

17 L'évaluation des apports pluviométriques durant la période de recharge des nappes peut s'appuyer sur des données mensuelles, par contre, pour l'analyse des processus de tarissement des cours d'eau, l'échelle journalière est plus appropriée. La complémentarité entre les échelles mensuelles et journalières est fondamentale pour la prévision des débits d'étiage. En effet, des prévisions « à long terme », c'est-à-dire à échéances de plusieurs mois, peuvent s'opérer à partir de l'évaluation des apports pluviométriques mensuels observés en période de recharge des nappes. Durant la période de basses eaux, on glisse progressivement vers des prévisions « à court terme », c'est-à-dire à échéance de quelques jours. Le passage des prévisions mensuelles aux

prévisions journalières s'accompagne d'une amélioration dans la qualité et dans la précision de celles-ci.

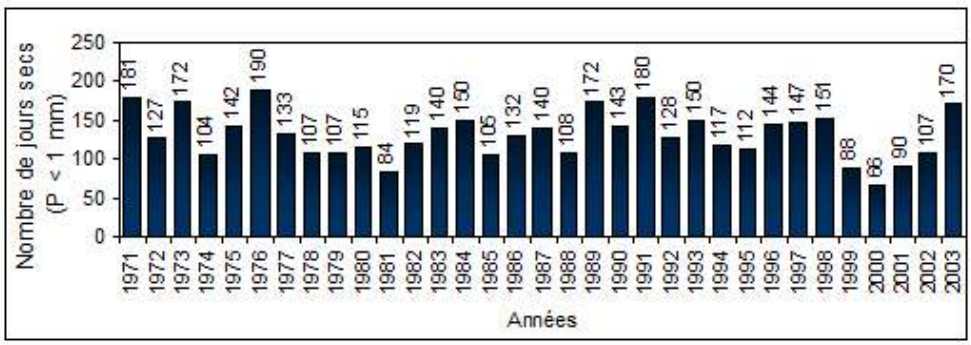
- Les déficits pluviométriques mensuels : dans le cas d'étiage exceptionnel, les précipitations sont souvent déficitaires plusieurs mois avant la période d'étiage. La figure 7 présente ainsi les écarts mensuels à la moyenne en 1976 et 2003 sur le bassin versant du Brénon. On constate que la situation pluviométrique est dans les deux cas très tôt déficitaire, dès janvier en 1976 et février en 2003. Par contre, les déficits pluviométriques sont moins marqués en 2003. Ce constat peut être généralisé à l'ensemble du domaine étudié, expliquant un étiage souvent moins sévère en 2003. Selon la DREAL Lorraine, en 1976, 75 % des bassins subissent un étiage supérieur à une fréquence décennale contre 50 % en 2003[3].

Figure 7 : Déficits pluviométriques mensuels en 1976 et 2003 - Bassin versant du Brénon



- Les séquences sèches et le nombre de jours sans pluie : les étiages sont par ailleurs conditionnés par les rythmes de tarissement des cours d'eau. Les périodes de tarissement correspondent à des séquences sans précipitations durant lesquelles le débit du cours d'eau diminue au rythme de vidange des nappes souterraines. L'échelle journalière s'impose donc pour l'analyse de ces processus. Le nombre de jours secs observés dans une année met en exergue les années exceptionnelles en terme d'étiage : on dénombre ainsi 190 jours secs sur le bassin du Brénon en 1976 et 170 en 2003 (fig. 8).

Figure 8 : Nombre de jours secs (1971-2003) - Bassin versant du Brénon



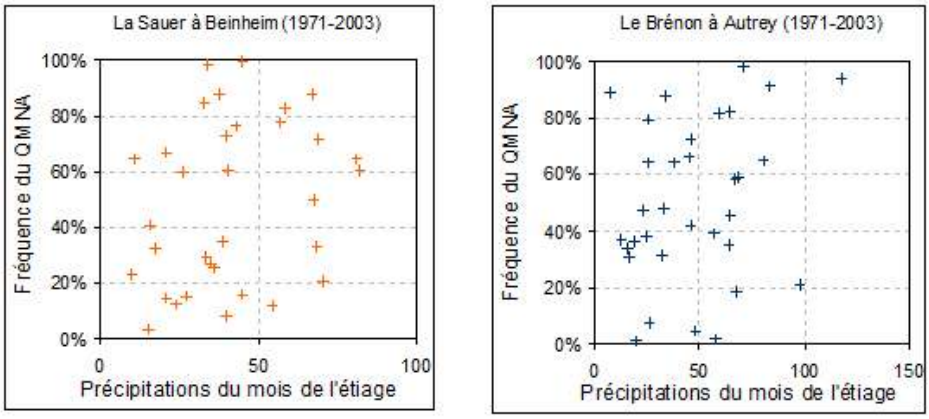
Un jour sec a été considéré à partir de P < 1 mm

18 Les pas de temps mensuels et journaliers sont donc complémentaires. L'échelle mensuelle est à privilégier pour évaluer la recharge des nappes souterraines durant la période précédant l'événement, alors que l'échelle journalière est nécessaire pour l'analyse des séquences sèches qui génèrent des épisodes de tarissement et constituent donc un facteur aggravant en période estivale. Cependant, si le lien entre déficit pluviométrique et étiage sévère est évident, cette relation est difficile à quantifier.

B. Le rôle des précipitations antérieures dans la genèse des étiages

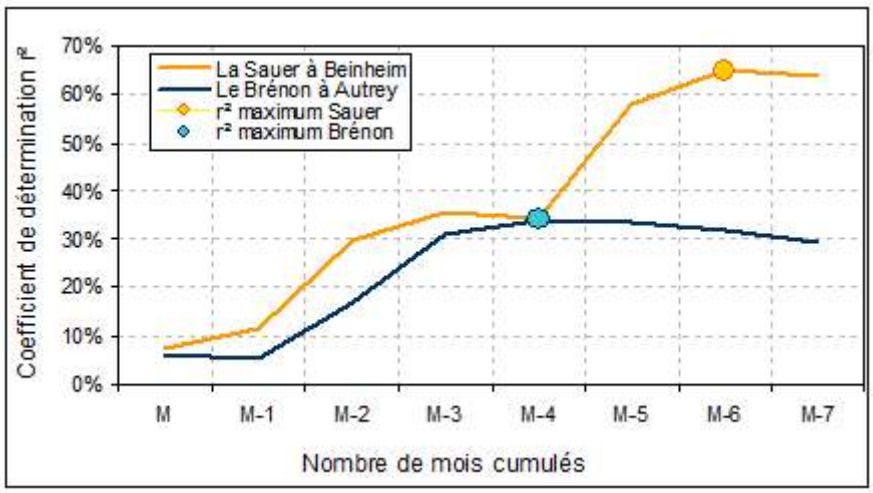
19 Il est difficile d'établir une relation directe entre les précipitations enregistrées durant le mois de l'étiage et la sévérité de ce dernier (fig. 9) dans la mesure où il s'agit d'un phénomène lent et dépendant de conditions antérieures. Il convient donc de prendre en compte les précipitations précédant l'étiage et enregistrées durant la période de recharge des nappes afin d'établir une relation entre ces deux variables.

Figure 9 : Corrélation entre la fréquence du QMNA et les précipitations mensuelles du mois de l'étiage



20 Des corrélations sont testées entre les précipitations mensuelles cumulées et la sévérité des étiages, représentée par la fréquence du QMNA. La figure 10 permet d'observer l'évolution du coefficient de détermination r^2 à mesure que l'on fait entrer des mois antérieurs dans la corrélation entre la fréquence du QMNA et les précipitations cumulées des mois précédents.

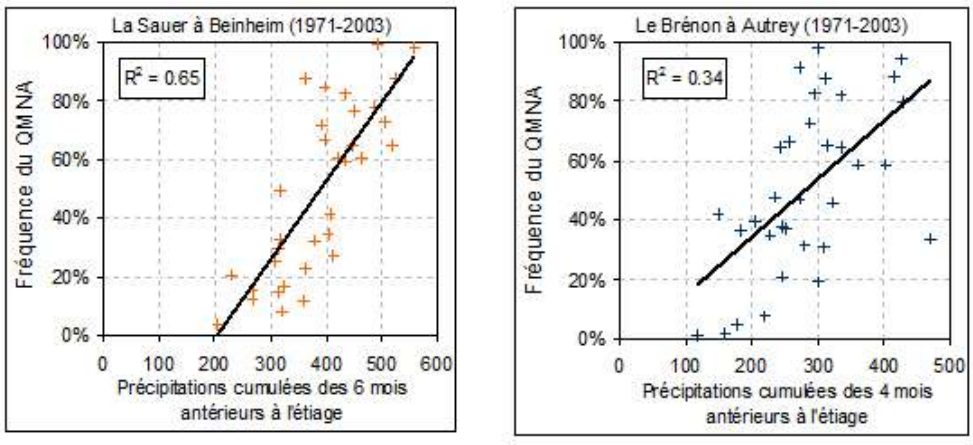
Figure 10 : Valeurs de r² caractérisant la corrélation entre la fréquence du QMNA et les précipitations mensuelles cumulées



M = Mois de l'étiage ; M-1 = Mois précédent ; M-2 = Cumul des deux mois précédents ; etc.

21 La Sauer présente une corrélation plus significative que le Brénon, puisque l'on atteint un r^2 maximum de 65 %, contre 34 % pour le Brénon. De plus, r^2 augmente régulièrement jusqu'à 6 mois, ce qui signifie que la sévérité des étiages est fortement corrélée aux précipitations mensuelles cumulées sur les 6 mois précédents l'événement (fig. 11). Les étiages les plus sévères sont donc généralement liés à des précipitations hivernales et printanières particulièrement faibles. Sur le Brénon, le coefficient r^2 augmente jusqu'à 4 mois, puis diminue. La meilleure corrélation est donc observée entre la fréquence du QMNA et le cumul des précipitations sur les 4 mois qui précèdent l'étiage, mais cette relation est nettement moins significative que pour le bassin versant de la Sauer (fig. 11).

Figure 11 : Corrélation la plus significative entre la fréquence du QMNA et les précipitations mensuelles cumulées



22 Le cumul des précipitations mensuelles pour expliquer la sévérité des étiages s'avère donc pertinent sur la Sauer du fait de l'importante inertie de ce bassin et du rôle prépondérant des nappes souterraines. L'analyse des précipitations mensuelles cumulées depuis le début de l'année permet ici d'évaluer indirectement l'état de recharge des réservoirs souterrains au début de la période de basses eaux.

23 Sur le Brénon, la relation entre les précipitations hivernales et printanières et la fréquence des étiages est nettement moins évidente, ce qui s'explique par la faiblesse des apports souterrains. Ce bassin est très réactif aux impulsions pluviométriques et dans ce cas, la sévérité des débits d'étiage s'explique davantage par les séquences sèches et la succession de phases de tarissement.

C. Des bassins « annonciateurs » du risque d'étiage

24 Cette analyse souligne dans quelle mesure des prévisions à long terme peuvent être envisagées. En effet, un bassin au régime d'étiage régulé par les nappes est intéressant pour réaliser ce type de prévisions, ce qui n'est pas le cas d'un bassin imperméable, sans effet « mémoire ». Ce constat est fondamental en terme de gestion opérationnelle des débits d'étiage, car certains bassins peuvent être « annonciateurs » du risque d'étiage et sont donc intéressants en terme de suivi et d'évaluation de la situation hydrologique, surtout si ils sont situés en tête de bassin. Les cours d'eau situés en tête des grands bassins versants et bénéficiant d'apports souterrains importants en période d'étiage ont en effet un rôle déterminant, car ils alimentent et soutiennent les régimes des grands cours d'eau de l'aval.

25 Afin de permettre une évaluation et un suivi de la situation pluviométrique, nous proposons un modèle d'ajustement statistique adapté à l'analyse des cumuls mensuels.

III. Caractérisation des étiages par la fréquence des cumuls de précipitations mensuelles

26 Pour certains bassins aux régimes d'étiage contrôlés par les nappes, il est donc possible d'établir une relation simple entre le cumul de pluie hivernal et printanier et le débit d'étiage d'une même année. Cette relation amène à élaborer un indicateur statistique fondé sur le cumul des précipitations mensuelles exprimé en fréquence. Cet indice permet un suivi de l'évolution de la situation pluviométrique mois par mois, tout en tenant progressivement compte du poids des mois antérieurs : l'analyse fréquentielle est réalisée pour le mois de janvier, puis pour le cumul de janvier et février, etc. En fonction de la gravité du cumul, il est ainsi possible d'évaluer la situation et d'anticiper le risque d'apparition d'un étiage sévère sur certains bassins. Cette analyse statistique repose sur le modèle QdF.

A. Le modèle QdF

27 Le modèle QdF[4], élaboré par le CEMAGREF, a été au départ développé pour analyser les régimes de crues. Galéa et al. (1999) proposent des développements pour une application aux régimes d'étiage. Cette méthode permet de caractériser des événements en tenant compte de leur durée : le modèle est en effet appliqué aux VCN_d[5] de différentes durées (1, 3, 5, 10, 15, 20, 30 jours, etc.). L'intérêt de la méthode repose donc sur le fait qu'elle permette de proposer un ajustement statistique unique pour le calcul des fréquences pour toutes les durées d (appelé ajustement multi-durée).

28 La méthode QdF propose un modèle calé sur la loi Log normale 2 afin de déterminer les quantiles pour toute période de retour T et toute durée d à partir de 3 paramètres descripteurs du régime d'étiage. Le modèle repose sur deux hypothèses :

- Les distributions de VCN_d représentées avec des échelles gausso-arithmétiques montrent un parallélisme. Si cette propriété appelée « propriété d'affinité » est vérifiée, il est alors possible de déterminer une pente unique appelée écart-type consolidé (Sc).
- La variation des valeurs naturelles des VCN en fonction de la durée d peut être représentée par une seule droite, induisant un parallélisme de ces différentes droites en valeurs logarithmiques.

B. Application et adaptation du modèle QdF aux cumuls de précipitations mensuelles

29 Nous appliquons cette méthode aux cumuls de précipitations mensuels afin de proposer un modèle d'ajustement unique quel que soit le nombre de mois cumulés. L'objectif est de proposer un modèle unique d'ajustement statistique pour tous les cumuls de précipitations.

30 L'ajustement à une loi Racine normale a été retenu pour l'ajustement des précipitations. Cette loi est en effet communément admise pour « l'étude des séries de pluies mensuelles non nulles » (Lubes et al., 1994). Pour pouvoir appliquer les fondements de la méthode, le modèle a été adapté à loi Racine normale et les deux hypothèses du modèle QdF ont été vérifiées :

1. La propriété d'affinité

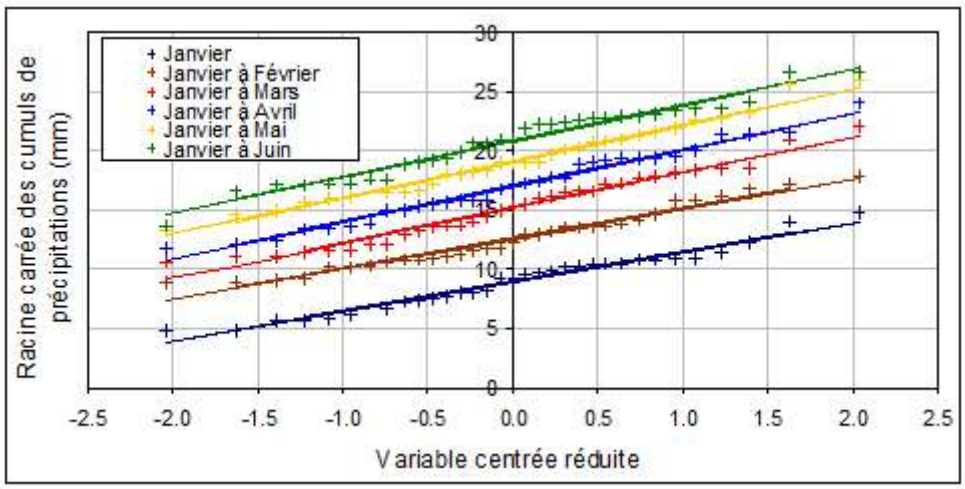
31 Les droites d'ajustement des racines carrées des cumuls multi-durée doivent montrer un parallélisme (fig. 12). Cette propriété confirme des écarts-types comparables, autorisant le calcul d'une pente unique appelée écart-type consolidé (Sc).

$$P_{uF} = \left(u_F \times S_C + \overline{C}_D\right)^2 \qquad Eq.\ (1)$$

32 Où :

- P_{uF} est le quantile du cumul des précipitations de janvier à janvier + D mois ;
- uF est la variable centrée réduite de Gauss ;
- Sc est l'écart-type consolidé ;
- est la moyenne des racines carrées des cumuls sur D mois ;
- D représente le nombre de mois du cumul.

Figure 12 : Vérification de la propriété d'affinité pour les cumuls de précipitations mensuelles – Poste pluviométrique de Nancy (1971-2003)



2. La relation durée-cumul

33 En conservant la racine carrée des cumuls de précipitations mensuelles, on peut établir une relation entre la valeur moyenne du mois de janvier et les cumuls moyens des mois suivants. Cette relation est de type puissance (fig. 13) et peut s'écrire (équation 2) :

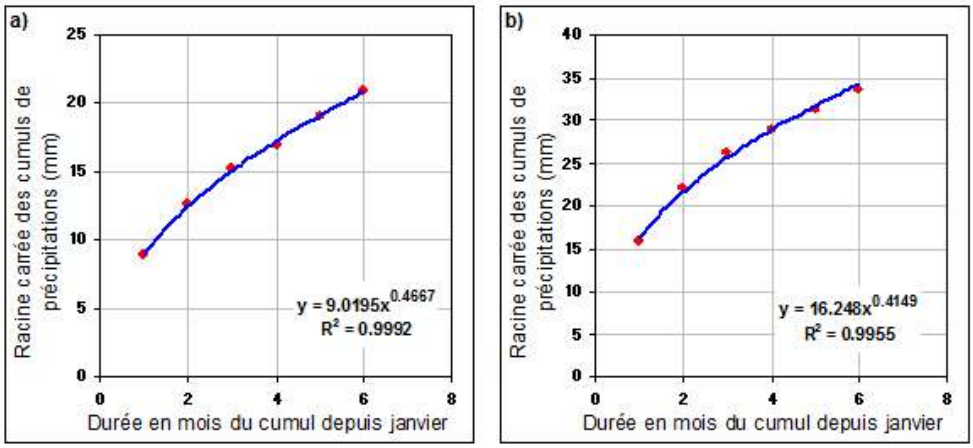
$$\overline{C}_D = \overline{C}_{D\ janvier} \times D^{\alpha} \qquad Eq.\ (2)$$

34 Où :

- est la moyenne des racines carrées des cumuls sur D mois ;
- est la moyenne des racines carrées des précipitations de janvier ;
- α est l'exposant de la fonction puissance.

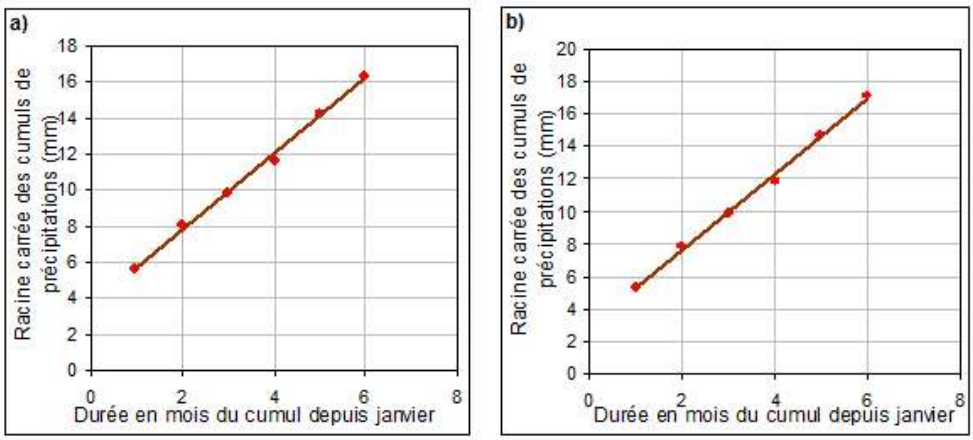
35 Le paramètre « α » traduit l'évolution des cumuls de précipitations. Ce cumul n'étant finalement qu'un moyen d'exprimer le régime pluviométrique, il est normal que la nuance entre le climat océanique et continental apparaisse au travers de la relation durée-cumul. Pour un régime pluviométrique océanique, « α » a une valeur faible (0,41 par exemple pour la station de Sewen-Lac dans les Vosges, fig. 13b). En revanche, pour les régimes pluviométriques évoluant vers un régime continental, l'augmentation des pluies pendant la saison chaude rétablit une approximative linéarité de la relation (fig. 14).

Figure 13 : Relation durée-cumul de type puissance (1971-2003)



a) Poste pluviométrique de Nancy– b) Poste pluviométrique de Sewen Lac

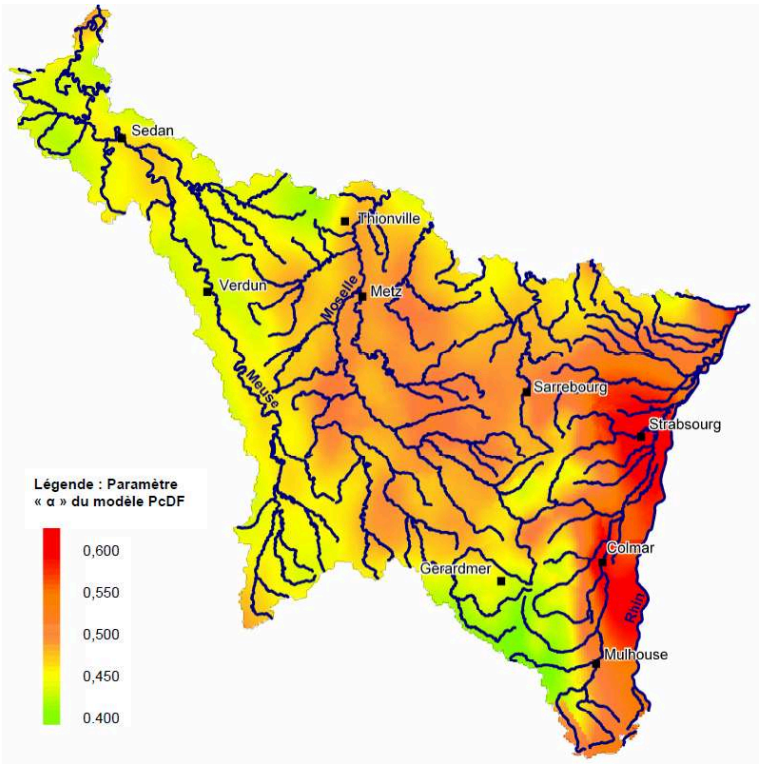
Figure 14 : Relation durée-cumul mieux ajustée par une fonction linéaire (1971-2003)



a) Poste pluviométrique de Colmar– b) Poste pluviométrique de Strasbourg

36 Afin d'observer la sensibilité de ce paramètre « α » aux particularités locales du régime climatique, une spatialisation de cette valeur est réalisée sur le domaine d'étude (le modèle a été appliqué à la grille des précipitations mensuelles de résolution 1 km (fig. 15).

Figure 15 : Cartographie du paramètre « α » qui établit la relation durée-cumul dans le modèle



37 Cette cartographie met en évidence l'influence continentale du côté alsacien, où les valeurs de « α » sont supérieures à 0,60. Le Plateau Lorrain, soumis à un climat de transition mais où les effets de la continentalité commencent à apparaître, présente également des valeurs de « α » assez élevées. A l'inverse, les zones représentées en vert correspondent à des valeurs de « α » plus faibles, caractérisant le climat océanique bien marqué sur les Vosges, les Ardennes et le plateau des Hauts de Meuse (valeurs inférieures à 0,45).

C. Le modèle d'ajustement

38 L'intérêt du modèle est d'utiliser les deux principes évoqués précédemment et ainsi permettre le calcul des fréquences pour n'importe quel cumul de précipitations. En reprenant les équations 1 et 2 on obtient la formulation du modèle suivante (équation 3) :

$$P_{uF} = \left(u_F \times S_C + \overline{C}_{D\,janvier} \times D^{\alpha}\right)^2 \qquad Eq.\ (3)$$

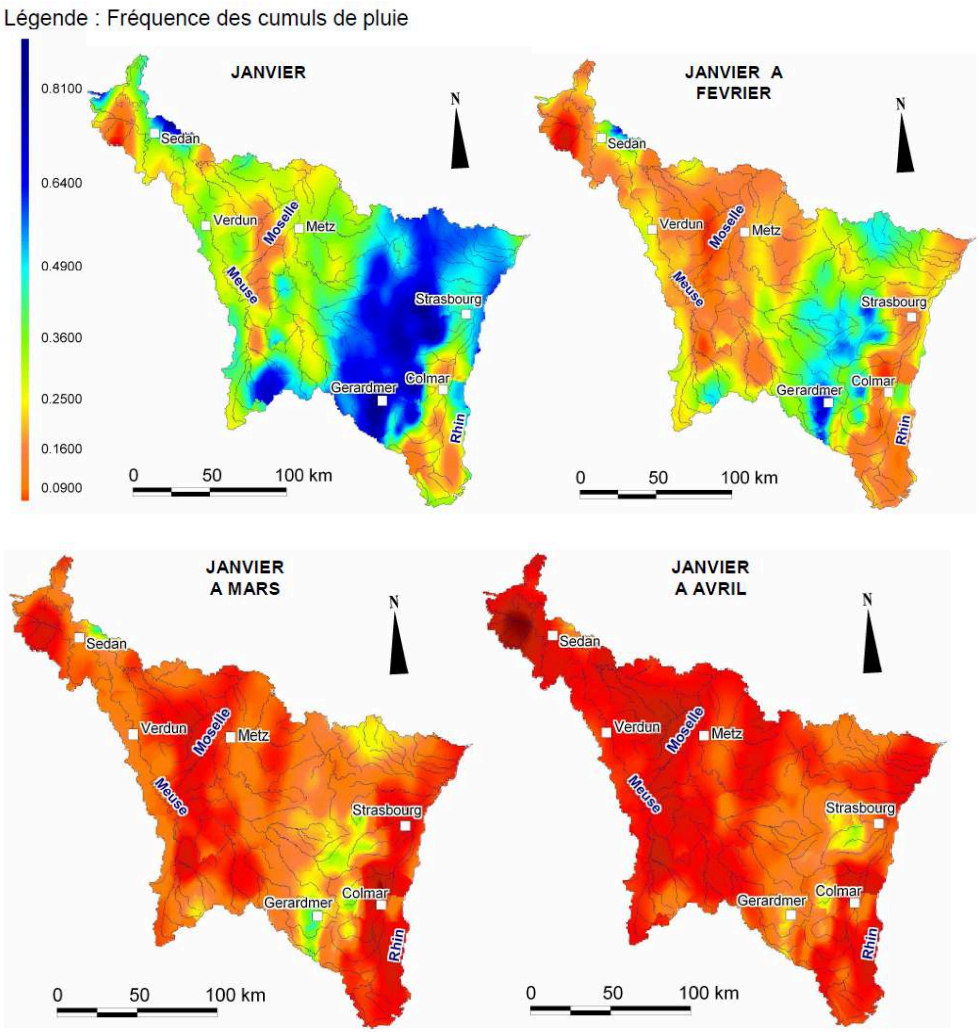
39 Le modèle a été validé par comparaison entre les quantiles calculés par le modèle et ceux obtenus par un ajustement à la loi Racine normale de chaque cumul.

D. Les cumuls pluviométriques des étiages de 1976 et 2003

40 Le modèle est appliqué aux précipitations mensuelles cumulées des années 1976 et 2003 (fig. 16 et 17). On constate que dès le début de l'année, 2003 apparaît moins sévère que 1976. En 1976, la situation devient très préoccupante dès le mois de mars et ne cessera

de s'aggraver. Les cartes des fréquences de cumuls de précipitations illustrent cette aggravation progressive et régulière de la situation en 1976 et soulignent également l'étendue géographique du phénomène, car, à la différence de 2003, aucun secteur ne semble épargné par la sécheresse. Ainsi, la pluviométrie moins abondante du début de l'année 2003, à laquelle s'ajoute une petite accalmie au printemps, va expliquer, en partie, un étiage généralement moins sévère en 2003 qu'en 1976.

Figure 16 : Cartes des fréquences des cumuls de pluie pour l'année 1976



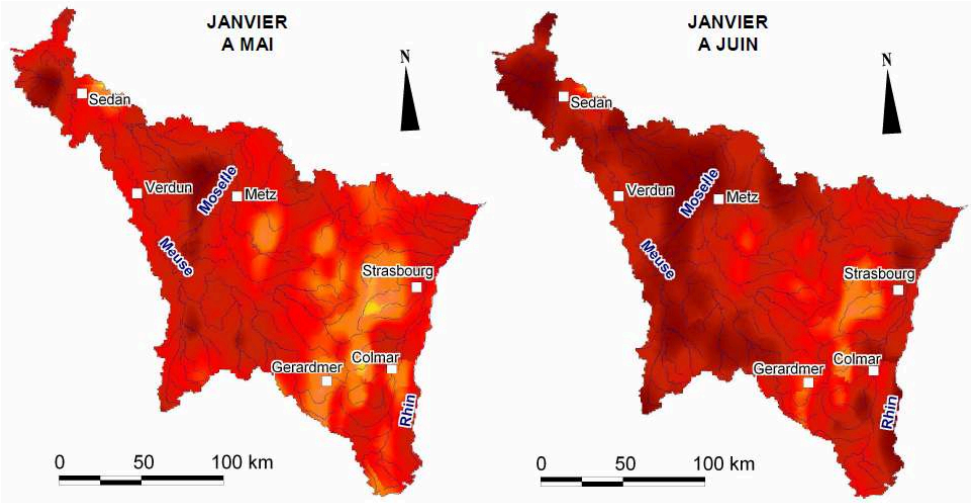
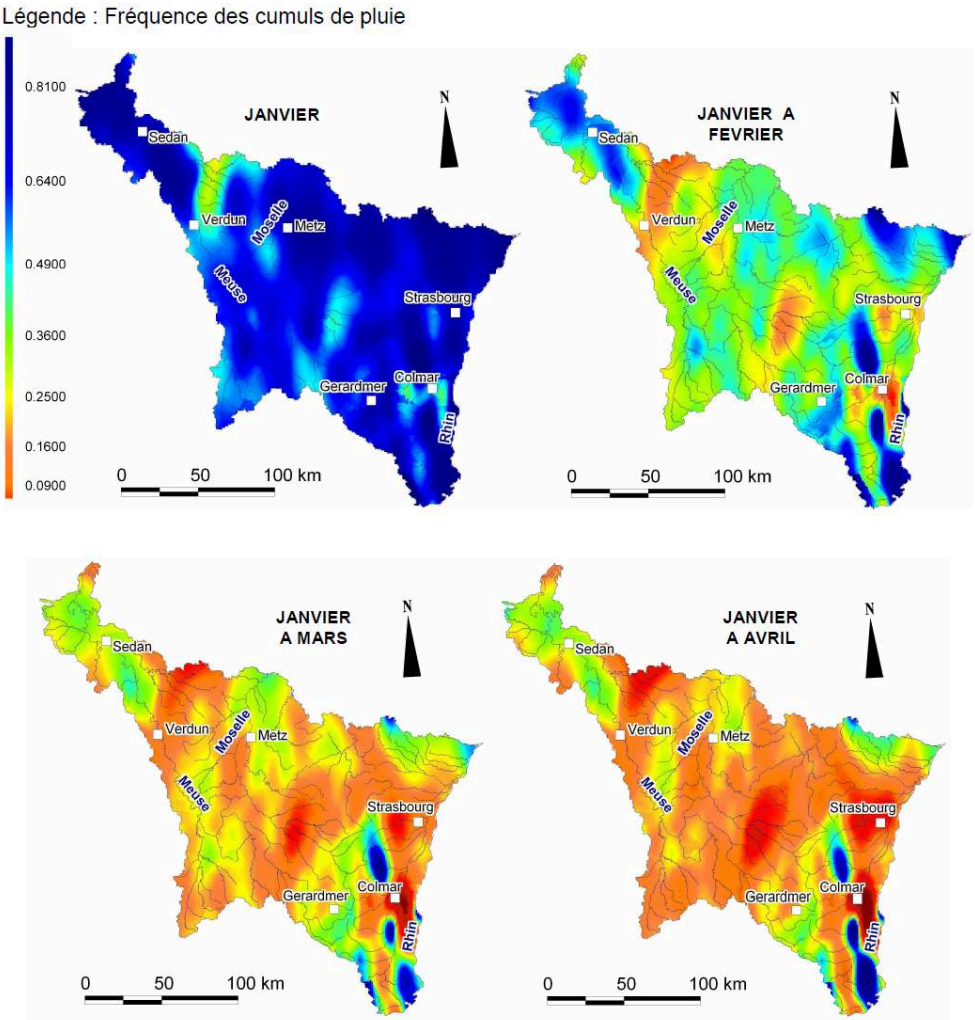
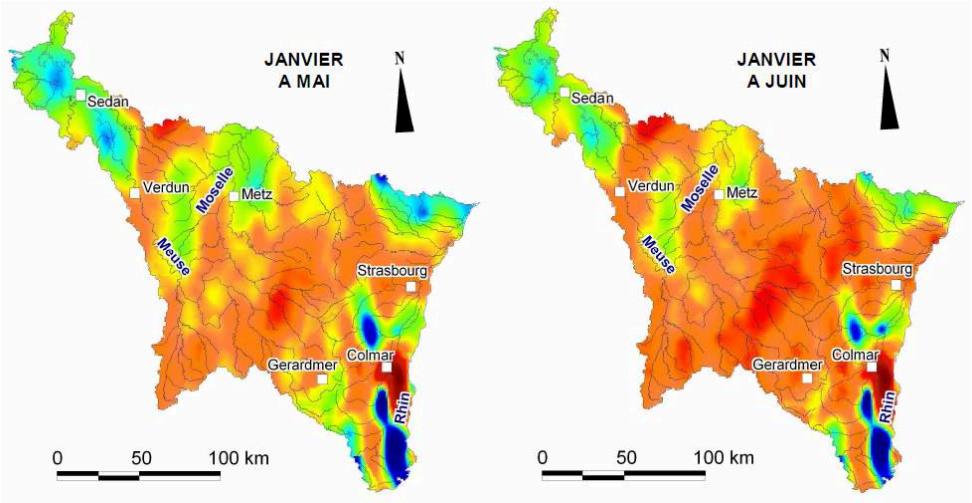


Figure 17 : Carte des fréquences des cumuls de pluie pour l'année 2003





Conclusion

41 Les étiages sont des phénomènes hydrologiques intimement liés aux apports souterrains. Le contexte géologique des bassins versants constitue donc une caractéristique essentielle dans l'explication des écoulements durant ces périodes. Les apports pluviométriques, qui conditionnent la recharge des nappes et les processus de tarissement, constituent l'autre élément déterminant.

42 Ces événements sont difficiles à décrire et à analyser, car ils dépendent de processus qui peuvent s'étaler sur plusieurs mois. Cette longue genèse permet une évaluation assez précoce de la situation, par l'analyse des précipitations enregistrées durant les périodes favorables à la recharge des réservoirs souterrains, à condition d'observer un bassin versant à forte inertie et au régime d'étiage conditionné par les nappes. Les évaluations hydro-climatologiques et les prévisions à long terme ne sont donc pertinentes que pour certains types de bassins. Par ailleurs, dans un contexte de prévision opérationnelle, le recours à la modélisation hydrologique constitue une approche à privilégier dans la mesure où les états antérieurs des différentes composantes du cycle hydrologique sont pris en compte pour réaliser les simulations de débits. Néanmoins, l'évaluation par les fréquences de précipitations cumulées constitue un premier indicateur intéressant et simple à mettre en œuvre.

43 Ainsi, dans le cadre du dispositif PRESAGES[6] mis en place pour prévoir les étiages dans le bassin Rhin-Meuse, l'analyse des cumuls de précipitations constitue le premier indicateur utilisé (CEGUM-AERM, 2006). Le seuil de fréquence 30 % du cumul de précipitations de janvier à juin a été choisi comme seuil pertinent pour déclarer un état de vigilance. Cet indice pluviométrique est complété par une surveillance et une évaluation des débits d'étiage en terme de fréquence. Si ces indicateurs, fondés sur les précipitations et les débits, annoncent un risque d'étiage, des outils de modélisation sont à la disposition des services gestionnaires (DREAL Lorraine, DREAL Alsace et Service de la Navigation de Strasbourg). Les modèles permettent de réaliser des prévisions de débits particulièrement utiles pour répondre aux enjeux du Plan Cadre Sécheresse. Ce plan national définit en effet différents seuils de crise afin de fixer des limitations temporaires de certains usages de l'eau dans le but de garantir un équilibre entre prélèvements et ressources disponibles.

BIBLIOGRAPHIE

CEGUM – AERM, 2006, *Indices simples pour la prévision à long terme des débits d'étiage*, Rapport d'étude PRESAGES, Note I.5., 9 p.

CEGUM – AERM, 2006, *Evaluation de la situation d'étiage à l'échelle mensuelle*, Rapport d'étude PRESAGES, Note II.1., 5 p.

Dacharry M., 1996, *Dictionnaire français d'hydrologie*, URL : http://webworld.unesco.org/water/ihp/db/glossary/glu/indexdic.htm

Darcy H., 1856, *Les Fontaines publiques de la ville de Dijon, Détermination des lois d'écoulement de l'eau à travers le sable*, Paris, Dalmont, 647 p.

Decloux J.P., Gille E., Paris P., Zumstein F., 1989, *Atlas des perméabilités du bassin Rhin-Meuse au 1/250000*

Galéa G., Mercier G., Adler M.J., 1999, « Modèles débit-durée-fréquence d'étiage, concept et usage pour une approche régionale des régimes de basses eaux des bassins hydrographiques de la Loire (FRANCE) et du Crisu-Alb (ROUMANIE) », Revue des sciences de l'eau, n°12/1, p.93-122

Gohau G., 1987, *Une histoire de la géologie*, Paris, La découverte, 277 p.

Larue J.P., Giret A., 2006, « Les étiages en milieu océanique : exemples dans le bassin de la Maine (France) », Revue des sciences de l'eau, n°19/4, p. 395-407.

Lubès H., Masson J.M., Raous P., Tapiau M., 1994, *Logiciel de calculs statistiques et d' analyse fréquentielle adapté à l'évaluation du risque en hydrologie*, Notice Safarhy.

Palissy B., 1580, *Discours admirable de la nature des eaux et des fontaines, tant naturelles qu'artificielles*, Mémoire, Paris.

Pardé M., 1963, *Fleuves et rivières*, Paris, Colin, 224 p.

Roche M., 1969, « Les processus du raisonnement chez l'hydrologue », Bulletin de la Section Géographique, Tome LXXX

Site Internet de la Banque HYDRO : http://www.hydro.eaufrance.fr/

NOTES

1. L'acronyme QMNA est dérivé de « Quantité Mensuelle miNimale Annuelle de fréquence sèche ».

2. Débit égalé ou non dépassé 10 jours par an.

3. Source : http://www.lorraine.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/Etiage2003_cle71d473.pdf

4. QdF pour Débit, durée, Fréquence.

5. Le VCN_d est le débit moyen minimum sur *d* jours ; il est fréquemment utilisé pour caractériser les étiages.

6. PRESAGES : **PRE**vision et **S**imulation pour l'**A**nnonce et la **G**estion des **E**tiages **S**évères ; cette étude a été commanditée par l'Agence de l'Eau Rhin-Meuse et réalisée par le Centre d'Etudes Géographiques de l'Université de Metz.

RÉSUMÉS

Les étiages sont des phénomènes hydrologiques fortement liés aux apports pluviométriques. Cependant, le lien évident entre sévérité des étiages et indigence des précipitations est rarement simple, car d'autres facteurs conditionnent les débits d'étiage, en particulier les apports souterrains et donc la géologie des bassins versants. De plus, si les étiages apparaissent généralement en période estivale, voire automnale, les processus inhérents à leur genèse peuvent s'étaler sur plusieurs mois. Cette longue genèse permet une évaluation assez précoce de la situation, par l'analyse des précipitations enregistrées durant les périodes favorables à la recharge des réservoirs souterrains, à condition d'observer un bassin versant à forte inertie et au régime d'étiage conditionné par les nappes. Cet article tente de mettre en évidence le rôle des précipitations et de la géologie comme facteurs de la sévérité et de la variabilité spatiale des débits d'étiage.

Low flows depend primarily on rainfall. However, the relationship between very low discharges and low precipitations may be complex because low flows are influenced by a combination of factors. Indeed low flow generating mechanisms are strongly related to antecedent rainfall condition and on storage properties within the catchments. This paper intends to present how these factors affect the spatial and temporal distribution of low flows. This paper focuses further on precipitations observed during the groundwater recharge period. These observations allow long-term forecasting for basins fed by large groundwater resources.

INDEX

Mots-clés : étiages, géologie, precipitations
Keywords : geology, low flows, rainfall

AUTEUR

CLAIRE LANG DELUS

Université Nancy 2, CERPA – Centre d'Études et de Recherches sur les Paysages - 23, boulevard Albert I^{er}, 54000 NANCY, claire.delus@univ-nancy2.fr