



**HAL**  
open science

## Mieux connaître l’intermittence des cours d’eau grâce aux données de l’observatoire national des étiages “ ONDE ”

Aurélien Beaufort, Eric Sauquet, J. Michon, C. Magand, C. Nowak

### ► To cite this version:

Aurélien Beaufort, Eric Sauquet, J. Michon, C. Magand, C. Nowak. Mieux connaître l’intermittence des cours d’eau grâce aux données de l’observatoire national des étiages “ ONDE ”. Colloque international “ Sécheresses, étiages et déficits en eau ”, Dec 2019, Paris, France. pp.10. hal-02609936

**HAL Id: hal-02609936**

**<https://hal.inrae.fr/hal-02609936v1>**

Submitted on 16 May 2020

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L’archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d’enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

## Mieux connaître l'intermittence des cours d'eau grâce aux données de l'observatoire national des étiages « ONDE »

Aurélien BEAUFORT<sup>1</sup>, Eric SAUQUET<sup>1</sup>, Janik MICHON<sup>2</sup>, Claire MAGAND<sup>2</sup>, Céline NOWAK<sup>2</sup>

<sup>1</sup>IRSTEA, UR RiverLy, 5 rue de la Doua CS 20244, 69625 VILLEURBANNE cedex, France, e-mail: [aurelien.beaufort@irstea.fr](mailto:aurelien.beaufort@irstea.fr), [eric.sauquet@irstea.fr](mailto:eric.sauquet@irstea.fr)

<sup>2</sup>AFB, 5, square Félix Nadar 94300 Vincennes, France, email : [celine.nowak@afbiodiversite.fr](mailto:celine.nowak@afbiodiversite.fr), [claire.magand@afbiodiversite.fr](mailto:claire.magand@afbiodiversite.fr)

*Les observations visuelles de l'état d'écoulement des petits cours d'eau menées l'été dans le cadre de l'observatoire ONDE permettent d'apprécier une situation hydrologique à un moment donné et d'en suivre son évolution, de réaliser des comparaisons interannuelles des situations à la même période, ou de suivre l'intensité des étiages année après année. Cependant, les observations ONDE ne donnent pas d'information sur la persistance des assèchements entre deux dates d'observation, information pourtant indispensable pour comprendre l'impact de l'intermittence sur la distribution et la persistance des espèces aquatiques.*

*Un modèle empirique a été développé pour prédire la probabilité journalière d'assèchement (assec) à l'échelle régionale (RPoD) sur l'ensemble de la France métropolitaine. Ce modèle a été calé sur les observations du réseau ONDE et utilise en entrée des données journalières caractérisant l'hydrologie de surface et la piézométrie. La robustesse des modèles a été éprouvée à l'aide des observations du réseau ONDE de l'année 2017 exclues de la phase de calage. Entre 2012 et 2016, le modèle obtient de bonnes performances sur une majorité des régions de France. Les performances en 2017 confirment la capacité prédictive du modèle.*

*Les résultats montrent l'intérêt d'utiliser les données ONDE pour caractériser le régime hydrologique des cours d'eau en tête de bassin versant et deux exemples d'application des modèles développés sont proposées : une identification des régions les plus touchées par les assecs entre 2012 et 2017 et une reconstitution de la RPoD depuis 1989.*

*Mots-clefs : cours d'eau, étiage, modélisation de l'intermittence, échelle régionale*

### *Enhancing knowledge on flow intermittence using the ONDE observation network*

*Visual inspection of the flow status on headwater conducted in summer as part of the ONDE system make it possible to characterize the current hydrological situation and monitor its evolution, allowing comparisons of situations (e.g. drought extension in both time and space) over specific periods. However, ONDE observations do not provide any information on the persistence of drying between two successive observation dates, which is essential for example to understand the impact of flow intermittence on the distribution and persistence of aquatic species.*

*An empirical model has been developed to predict the Regional Probability of Drying (RPoD) over the whole of continental France. This model is based on observations from the ONDE network and uses daily data input characterizing surface hydrology and groundwater level. The robustness of the models was tested against observations from the ONDE network in 2017, which were excluded from the calibration phase. Between 2012 and 2016, the model performed well in most regions of France. The performances in 2017 confirm the predictive capacity of the model.*

*The results show the value of using ONDE data to characterize the river flow regime of rivers in headwaters and two examples of the application of the models developed are finally proposed: an identification of the regions most affected by drying between 2012 and 2017 and a reconstruction of the Regional Probability of Drying since 1989.*

*Key words : rivers, low flows, modelling of flow intermittence, regional scale*

## I INTRODUCTION

Chaque été, de nombreux cours d'eau de France métropolitaine voient leur niveau d'eau baisser, parfois jusqu'à l'assèchement. Ces étiages naturels peuvent être accentués par l'utilisation de la ressource en eau à une période où celle-ci est plus rare : alimentation en eau potable, irrigation, arrosage des jardins publics, etc. Dans un contexte de changement climatique, la surveillance et la compréhension de ces étiages sont un enjeu fort pour les pouvoirs publics, à la fois pour mieux réguler les usages de l'eau en période de sécheresse et ainsi limiter les impacts sur les milieux aquatiques.

## II MIEUX CARACTÉRISER LES SÉCHERESSES

L'Observatoire national des étiages (ONDE<sup>1</sup>; Nowak et Michon, 2016, 2017) est un dispositif d'observations visuelles de l'état d'écoulement des petits cours d'eau métropolitains, réalisées chaque été depuis 2012 par les agents de l'Agence française pour la biodiversité (AFB<sup>2</sup>). Son atout tient au caractère objectif du constat selon trois modalités d'écoulement du cours d'eau<sup>3</sup> : écoulement de l'eau visible, présence d'eau mais écoulement non visible, et enfin assec. Les informations sont recueillies sur plus de 3 300 stations d'observation réparties sur 93<sup>4</sup> départements, soit en moyenne 36 par département. La répartition des stations a été pensée pour être représentative de la situation hydrographique de chaque département.

Les petits et moyens cours d'eau sont souvent plus affectés par les étiages que les grands cours d'eau de plaine du fait de leur dépendance plus marquée aux conditions hydro-climatiques locales (pluie et température). De par la localisation de ses stations en têtes de bassin versant souvent peu instrumentées (principalement sur des cours d'eau d'ordre de Strahler inférieur à 5), ONDE apporte une plus-value par rapport aux réseaux de données conventionnelles : entre 2012 et 2018, 44% des stations ONDE montrent des assecs contre 8% des stations hydrométriques présentes dans la banque HYDRO<sup>5</sup> (Figure 1).

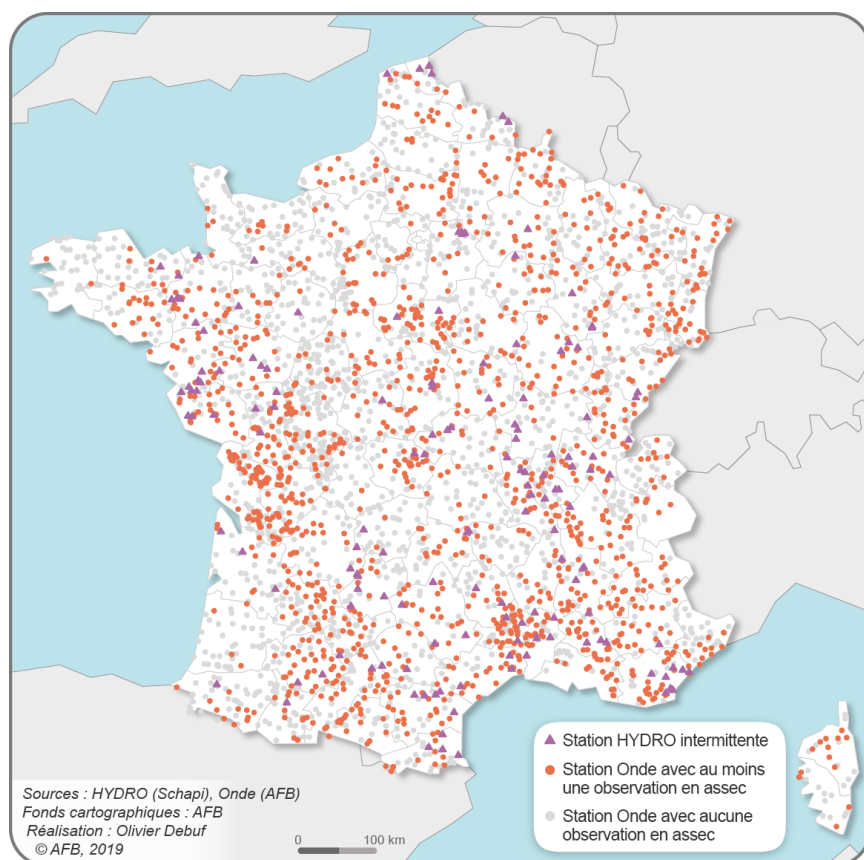


Figure 1 : Répartition des stations ONDE pour lesquelles au moins un assec a été observé sur la période 2012-2018 (suivis usuel et complémentaire) et des stations hydrométriques qualifiées d'intermittentes<sup>6</sup>

De mai à septembre, les agents de l'AFB assurent un suivi systématique des stations ONDE autour du 25 du mois, appelé suivi usuel, afin d'apprécier la situation hydrologique d'un cours d'eau, d'un département) à un moment donné (carte mensuelle) et d'en suivre son évolution (Figure 2).

1 <http://onde.eaufrance.fr/>

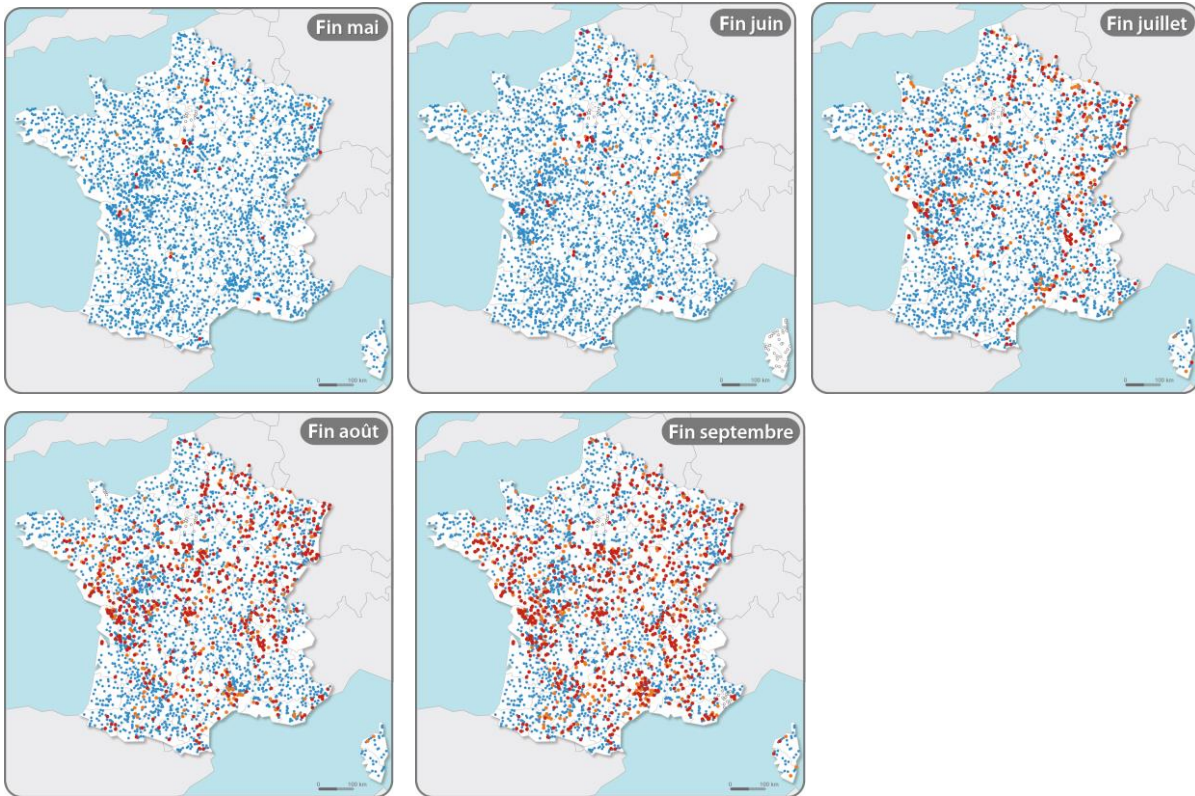
2 <https://www.afbiodiversite.fr/>

3 Une quatrième modalité 'écoulement visible faible' est parfois utilisée sur le terrain (distinction avec la modalité 'écoulement visible'). Elle n'est affichée que pour une représentation à la station ou au département.

4 Il n'existe pas de station dans les départements de la ville de Paris, de Seine-Saint-Denis et des Hauts-de-Seine, très majoritairement urbains.

5 <http://www.hydro.eaufrance.fr/>

6 Débit inférieur à 1 l/s pendant 5 jours consécutifs



Source : AFB  
Fonds cartographiques : AFB  
Réalisation : Olivier Debuf  
© AFB, 2018

● Écoulement visible ● Écoulement non visible ● Assec ● Observation impossible ○ Absence de données

Figure 2 : Evolution des observations d'écoulement entre fin mai et fin septembre 2018 (suivi usuel)

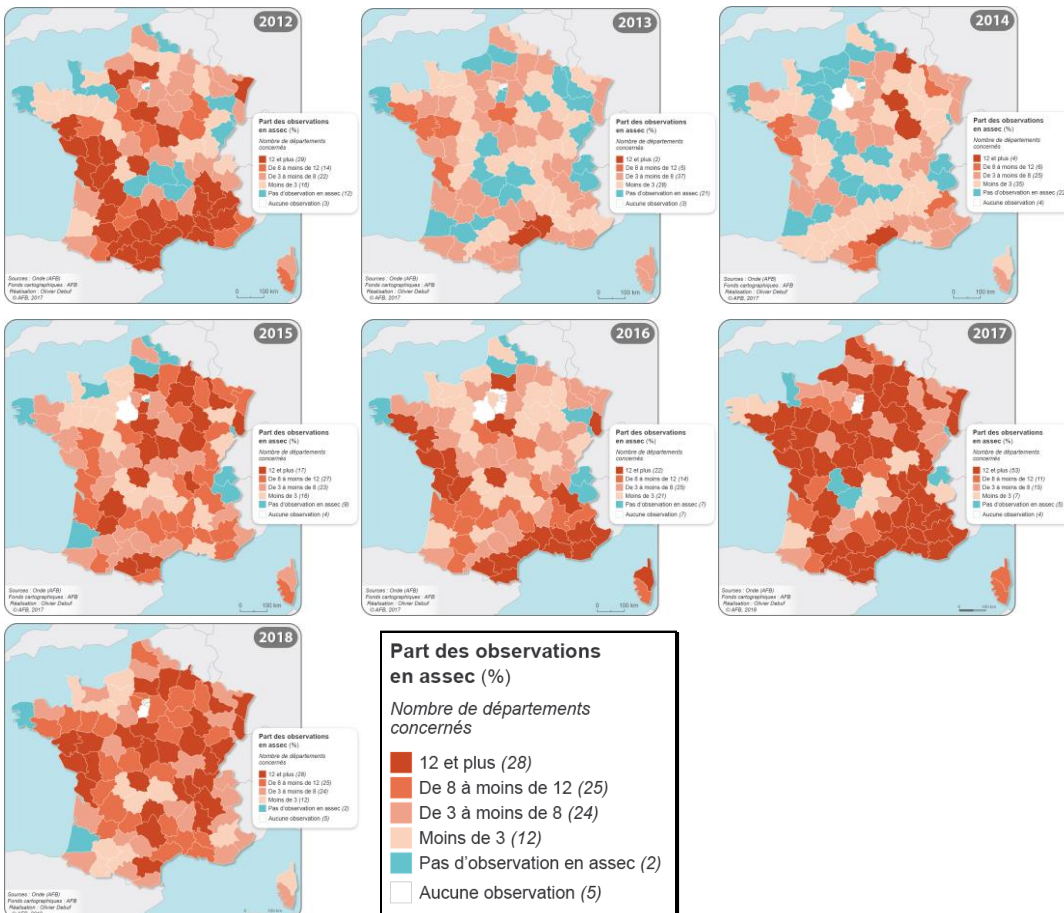


Figure 3 : Répartition des départements selon la part des observations en assec de 2012 à 2018 (suivi usuel)

Par ailleurs, les données étant recueillies aux mêmes périodes depuis 2012, il est possible de réaliser des comparaisons interannuelles des situations à la même période, ou de suivre l'évolution de l'intensité des étiages année après année (Figure 3).

En cas de situation hydrologique jugée sensible, un suivi complémentaire peut être réalisé sur l'ensemble du département ou sur un sous échantillon de stations et à une fréquence plus élevée. Ces données, transmises aux services de l'Etat, permettent de mieux anticiper la crise et deviennent une aide à la décision pour d'éventuelles restrictions d'usages de l'eau.

### III MIEUX CONNAITRE LES COURS D'EAU INTERMITTENTS

#### III.1 Cadre général de l'approche développée

L'intermittence (durée, interruption, saisonnalité) est un déterminant de la richesse biologique des milieux et la connaissance du nombre de jours d'assèchement sur un cours d'eau est une donnée cruciale pour comprendre l'impact de l'intermittence sur la distribution et la persistance des espèces aquatiques (Kelso and Entekin, 2018; Stubbington and Datry, 2013). La donnée ONDE permet de mieux appréhender la dynamique des assecs principalement en été ; elle est cependant qualitative et discontinue. En effet, les observations discrètes du réseau ONDE ne donne pas d'information sur la persistance des assèchements entre deux dates d'observation. La simulation spatio-temporelle de la probabilité d'assèchement des cours d'eau pourrait permettre d'améliorer nos connaissances sur leur fonctionnement hydrologique et ainsi améliorer leur gestion (Costigan et al., 2016; De Girolamo et al., 2017).

Le principal objectif est de déterminer comment des données d'observations discrètes dans le temps et l'espace peuvent nous aider à extrapoler des probabilités d'assèchement journalières à une échelle régionale. Un modèle empirique, basé sur des régressions logistiques, a été développé dans le but d'estimer des probabilités journalières d'assec régionaux en France métropolitaine. Les variables explicatives sont issues des débits et des niveaux piézométriques journaliers disponibles fournies par des réseaux de stations hydrométriques (HYDRO) et de piézomètres<sup>7</sup> denses. Elles sont réputées renseigner l'évolution de la situation hydrologique entre les dates d'observation ONDE. Les mesures aux stations hydrométriques choisies sont qualifiées par les gestionnaires comme n'étant pas ou faiblement influencées par les actions humaines. Les piézomètres sélectionnés sont ceux impliqués dans des échanges nappes-rivières (Brugeron et al., 2012). Les développements réalisés s'appuient sur un découpage de la France en régions hydrologiquement homogènes. Le découpage croise l'information géologique - facteur discriminant du soutien des étiages - portée par les 114 Hydro-EcoRégions (HER) de niveau 2 (Wasson et al., 2002) et une information sur le régime hydrologique (RH) décrit par les douze débits mensuels moyens réparti en douze classes (pluvial = classe 1 à 6 selon, transition = classe 7 et 8, nival et glaciaire = classe 8 à 12) (Sauquet et al., 2008). L'ensemble des sites ONDE présents dans la région HER-RH seront associés aux piézomètres et stations hydrométriques situés dans la même région HER-RH. Ces régions présentent des tailles évoluant entre 4 et 20 000 km<sup>2</sup> (moyenne 1400 km<sup>2</sup>).

Notons que deux jeux de stations/piézomètres de référence correspondant à deux périodes distinctes 2012-2017 et 1989-2017 ont été constitués avec respectivement 1600 stations hydrométriques et 750 piézomètres pour 2012-2017 et 630 stations hydrométriques et 150 piézomètres pour 1989-2017. Les données 2012-2017 seront utilisées en phase de calage, et les données 1989-2017 pour un exercice de reconstitution sur une période étendue.

#### III.2 Estimation des probabilités d'assec à l'échelle régionale

La stratégie de modélisation paramétrique est décrite dans la figure 4 (Beaufort et al., 2018). La variable considérée est la proportion d'observations ONDE « écoulement non visible » et « assec » pour chaque jour  $j$  et pour chaque HER-RH. Cette statistique est supposée renseigner la probabilité d'assec régionale des cours d'eau d'ordre de Strahler inférieur à 5<sup>8</sup> - les cours d'eau qui sont précisément suivis par le réseau ONDE - (Regional Probability of Drying,  $RPOD_{HER-RH}$ ) :

<sup>7</sup> <http://www.adeseaufrance.fr>

<sup>8</sup> <https://www.irstea.fr/sites/default/files/ckfinder/userfiles/files/typologie.pdf>

$$RPoD_{HER-RH}(j) = \frac{Ndrying_{HER-RH}(j)}{Ndrying_{HER-RH}(j) + Nflowing_{HER-RH}(j)} \quad (1)$$

où  $Ndrying$  et  $Nflowing$  sont respectivement le nombre d'observations « écoulement non visible » et « assec » et le nombre d'observations « écoulement visible ». Des relations empiriques entre un indicateur journalier  $F$  issu des jeux de stations/piézomètres de référence caractérisant la situation hydrologique et piézométrique, et la variable  $RPoD_{HER-RH}$  sont établies aux dates des relevés ONDE, puis appliquées en dehors de ces dates pour reconstruire la dynamique complète.

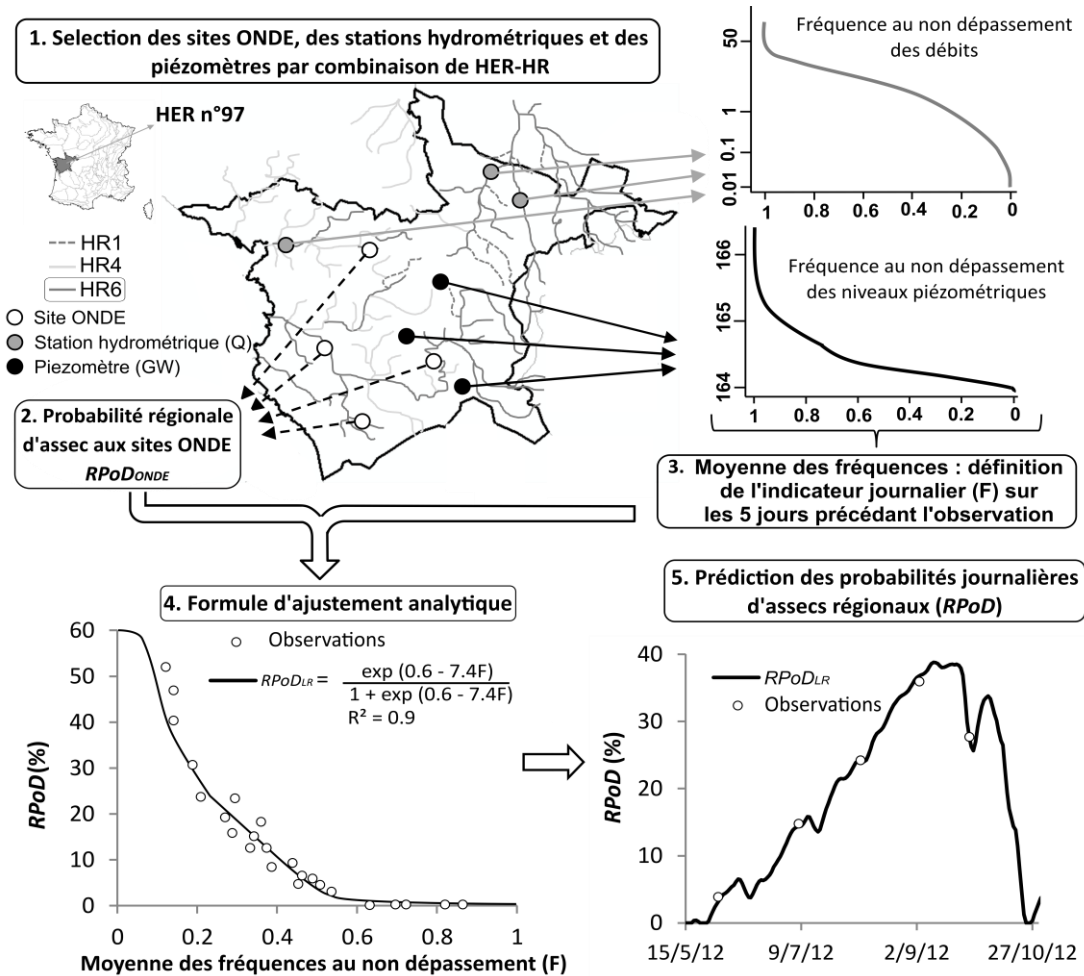


Figure 4 : Stratégie de la modélisation empirique (étapes 1 à 4) développées pour prédire la probabilité d'assec régionale (RPoD) par combinaison HER-RH en France

### III.2.1 Méthode

La méthode considère plusieurs étapes successives :

- *Définition de l'indicateur journalier  $F$*  (étapes 1 à 3 ; Figure 4) : On calcule d'abord la courbe des débits classés et son équivalent pour les niveaux piézométriques, puis la moyenne des fréquences empiriques au non dépassement des débits et niveaux piézométriques sur la période  $[j-5 ; j]$  où  $j$  est le jour de l'observation ONDE. Cette fenêtre de six jours permet d'intégrer des réponses non concomitantes (du fait de dynamiques différenciées induites par le stockage en nappe, les temps de propagation dans les biefs, etc.). Finalement l'indicateur retenu  $F$  pour décrire les conditions hydrologiques et piézométriques est :

$$F(j) = \frac{\sum_{i=1}^{j=N_Q} F_Q(i, j) + \sum_{i=1}^{j=N_{GW}} F_{GW}(i, j)}{N_Q + N_{GW}} \quad (2)$$

où  $N_Q$  et  $N_{GW}$  sont le nombre de stations hydrométriques et de piézomètres dans la région HER-RH et  $F_Q(i, j)$  et  $F_{GW}(i, j)$  sont les fréquences moyennes au non dépassement sur la période  $[j-5 ; j]$  à la station ou au piézomètre  $i$ .

- Ajustement de la régression logistique (LR) reliant  $F$  et  $RPoD_{ONDE}$  avec deux paramètres  $\alpha_2$  et  $\beta_2$  (étape 4 ; Figure 4) :

$$RPoD_{LR}(j) = \frac{\exp(\beta_2 + \alpha_2 \times F(j))}{1 + \exp(\beta_2 + \alpha_2 \times F(j))} \quad (3)$$

### III.2.2 Validation et incertitudes

La qualité de l'ajustement est mesurée par le critère de Nash-Sutcliffe ( $NSE$ , Nash et Sutcliffe, 1970) en comparant les valeurs de  $RPoD$  observées et estimées par le modèle LR.

Le modèle calé sur la période 2012-2016 avec le jeu de référence 2012-2017 est globalement performant avec une moyenne du  $NSE$  de 0.8 (Figure 5). Avec le modèle LR, 50% des régions HER-RH (65% du territoire) présentent un  $NSE$  supérieur à 0.8. Les scores les plus élevés s'observent dans les plaines sédimentaires, dans le sud-est de la France et dans les Pyrénées. Inversement, les moindres performances sont obtenues dans les secteurs de montagne (Alpes, Massif Central). Dans ces secteurs, les HER sont petites et le nombre de sites ONDE, de stations hydrométriques et piézomètres par combinaison HER-RH est certainement trop faible pour établir des relations fiables. Une analyse similaire a été menée avec le jeu de référence 1989-2017. Comme attendu, la performance avec ce jeu de données est moindre du fait d'une densité de stations hydrométriques et piézomètres moindre. La différence en termes de  $NSE$  est inférieure à 0.1 pour 64% des régions HER-RH.

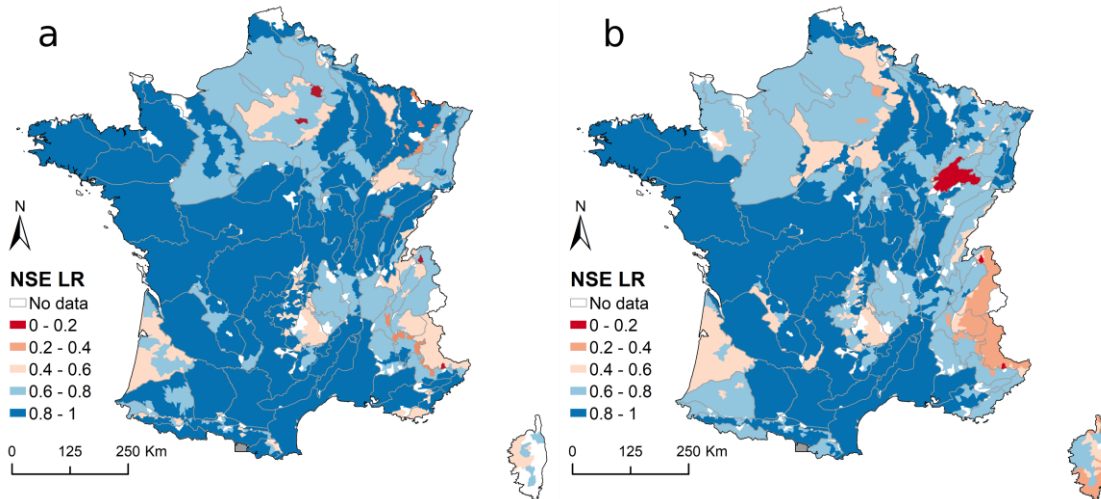


Figure 5 : Performance des modèles en calage sur la période 2012-2016 avec : (a) le jeu de référence 2012-2017 et (b) le jeu de référence 1989-2017

A l'échelle de la France, l'analyse des performances mensuelles et annuelles sur la période de calage 2012-2016 montre que les estimations de  $RPoD$  sont de meilleure qualité pendant les années sèches 2012 et 2016 ( $NSE=0.8$ ) que pendant les années humides (p. ex. 2014 avec  $NSE < 0.7$ ). L'efficacité est moindre pendant les mois de mai et de juin lorsque les assècs sont moins fréquents, comparativement aux mois d'août et de septembre plus riches en assècs. L'année 2017 a été réservée pour examiner la capacité en extrapolation des modèles. Les critères de Nash-Sutcliffe obtenus avec les deux jeux de référence 2012-2017 et 1989-2017 sont dans la gamme des  $NSE$  calculés sur les différentes années de la période de calage 2012-2016. La figure 6 montre les valeurs de  $RPoD$  par mois observés à partir des suivis ONDE et celles obtenues par le ou la moyenne des modèles sur les mêmes jours. La dynamique temporelle et la répartition spatiale simulée sont conformes avec les observations : peu d'assècs en mai et des assècs généralisés en août ; des assècs principalement dans le nord de la France entre mai et septembre et sur le pourtour méditerranéen entre juillet et septembre, le Massif Central reste relativement épargné. Les écarts entre simulations et observations ne présentent pas de structure spatiale particulière. Le modèle a ainsi démontré sa capacité à prédire  $RPoD$  pendant et en dehors de la période de calage.

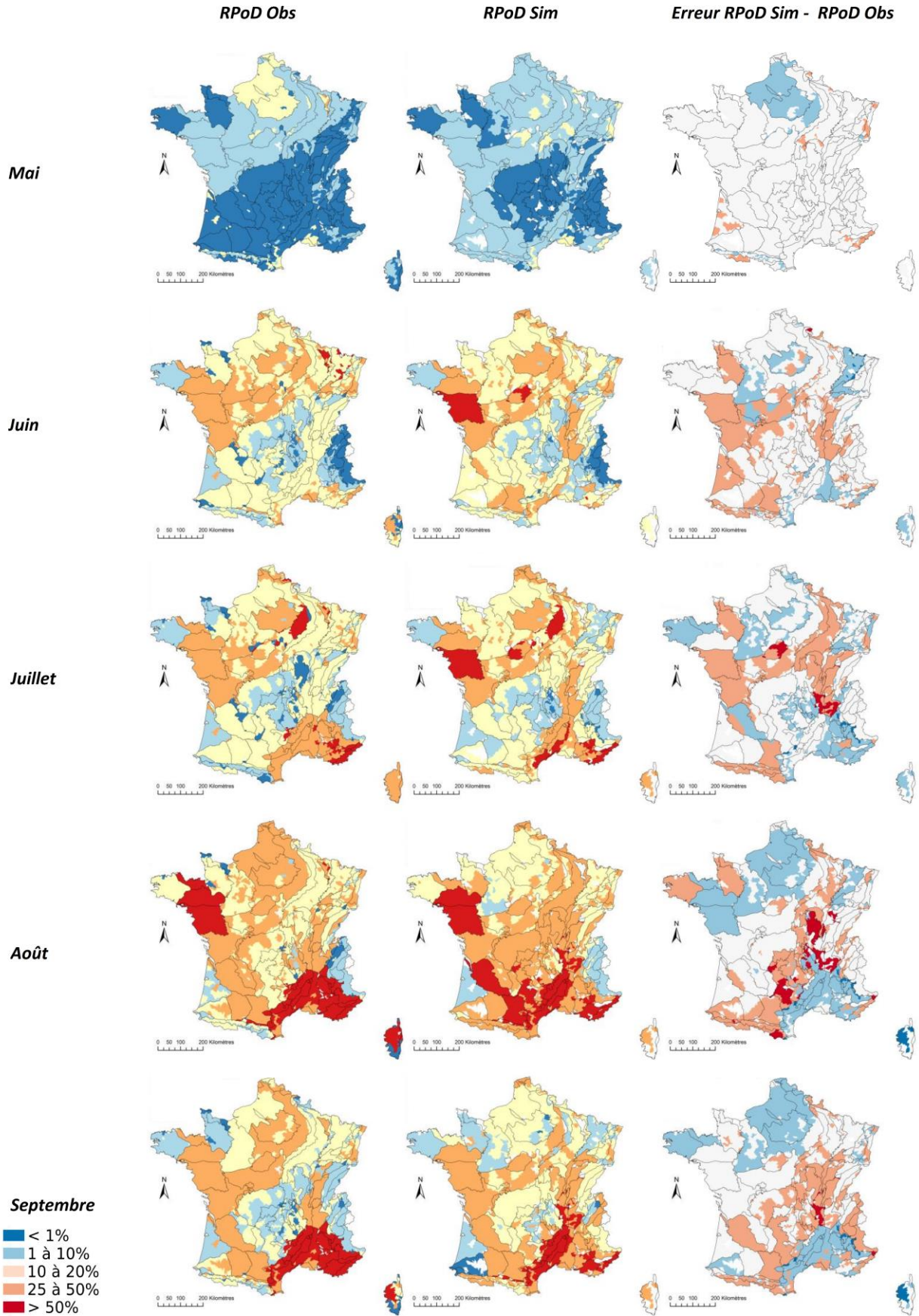


Figure 6 : Simulations et observations de RPoD aux dates d'observation ONDE en 2017 – Résultats obtenus avec le jeu de référence 2012-2017 et un calage sur la période 2012-2016



### III.2.3 Applications

La première application est l'appréciation de la sévérité des assèchements des cours d'eau à l'échelle de la France. La figure 7 montre le nombre maximum de jours consécutifs avec un  $RPoD$  supérieur à 20% ( $D_{RPoD>20\%}$ ) simulé par le modèle LR. Les régions les plus touchées sont situées dans le sud-est de la France et dans les plaines sédimentaires, en cohérence avec les observations ONDE (Figure 3) et la hiérarchie des années en termes de sites ONDE touchés par des assecs : l'année 2012 est l'année la plus sévère, avec environ 30% de la France affichant une durée maximale  $D_{RPoD>20\%}$  supérieure à 60 jours, suivie de 2015 (20% de la France avec  $D_{RPoD>20\%}> 60$  jours) et 2016 (15% de la France avec  $D_{RPoD>20\%}> 60$  jours). Les années 2013 et 2014 sont faiblement affectées par les assecs (moins de 6% de la France avec une durée maximale  $D_{RPoD>20\%}> 60$  jours). Cette application montre la variabilité à la fois temporelle et spatiale des assecs : les régions affectées par les assecs diffèrent d'une année à une autre et il n'y a pas de « régularité » : les assecs sont dépendants du climat et chaque année propose une structure spatiale et une dynamique temporelle particulières.

La seconde application concerne une analyse de la variabilité temporelle des assecs à l'échelle nationale (Figure 8). Pour cette application, le modèle a été calé avec le jeu de référence 1989-2017. Les variations de  $RPoD$  simulées sont semblables et conformes aux observations ONDE sur la période 1989-2016. La probabilité d'assec régionale est très variable sur l'ensemble de la période de simulation, avec une alternance de phases sèches (1989 à 1991, 2003 à 2006, 2009 à 2012) et humides (1994 à 1995, 2000 à 2002, 2013 à 2014). Malgré cette variabilité interannuelle, la saisonnalité de ce processus est très marquée : les pics de  $RPoD$  se produisent régulièrement entre août et septembre, que ce soit en année sèche ou en année humide. Ce résultat est cohérent avec la prééminence des régimes pluviaux avec des étiages estivaux en France.

Les valeurs les plus élevées de  $RPoD$  (supérieures à 35% sur la France) sont observées en 1989, 1990, 1991, 2003 et 2005 (courbe noire, figure 8). Ainsi, il n'apparaît pas une tendance à des assèchements plus marqués/étendus ces dernières années. Les valeurs de  $RPoD$  estimées pendant ces années sèches sont hors de la plage des valeurs observées sur la période de calage (2012-2016). Les estimations sont donc incertaines. Toutefois, les valeurs élevées de  $RPoD$  concordent avec les observations relevées dans des études antérieures (p. ex. Caillouet *et al.*, 2017). Inversement, les années moins affectées par les assecs sont les années 1994, 2001 et 2014 ( $RPoD$  moyen inférieur à 15%).

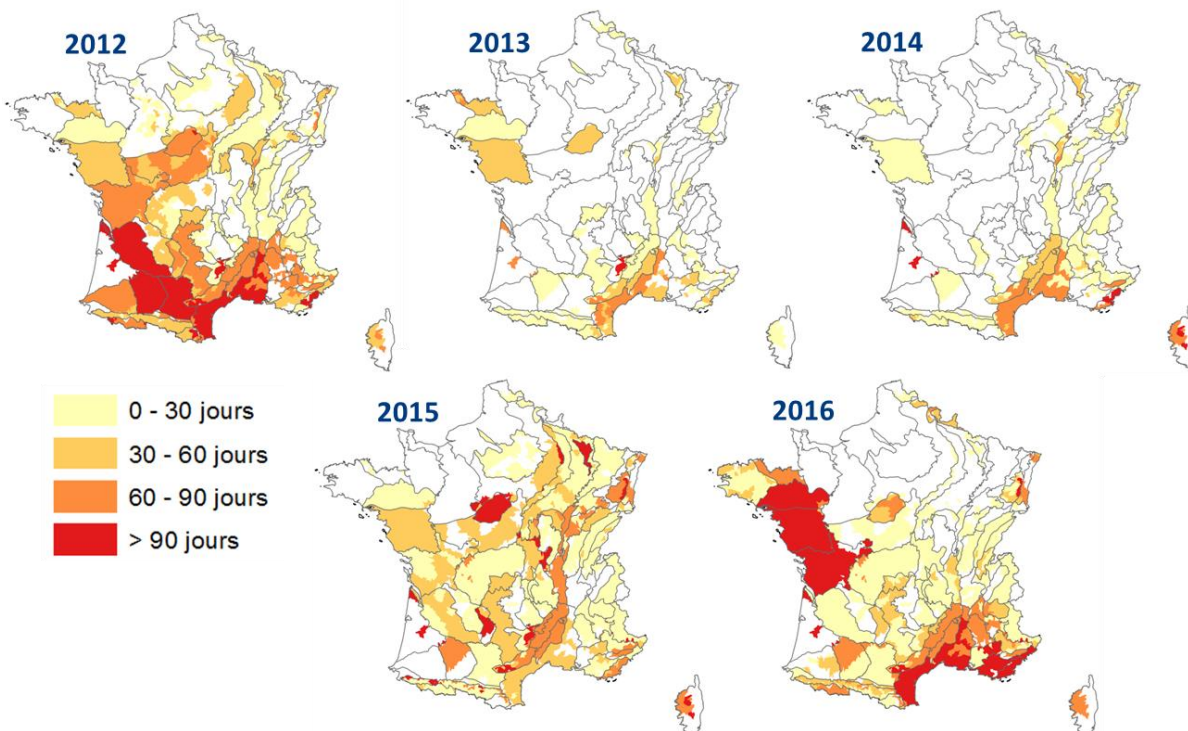


Figure 7 : Estimation de la durée avec une probabilité d'assec régionale  $RPoD$  supérieure à 20%

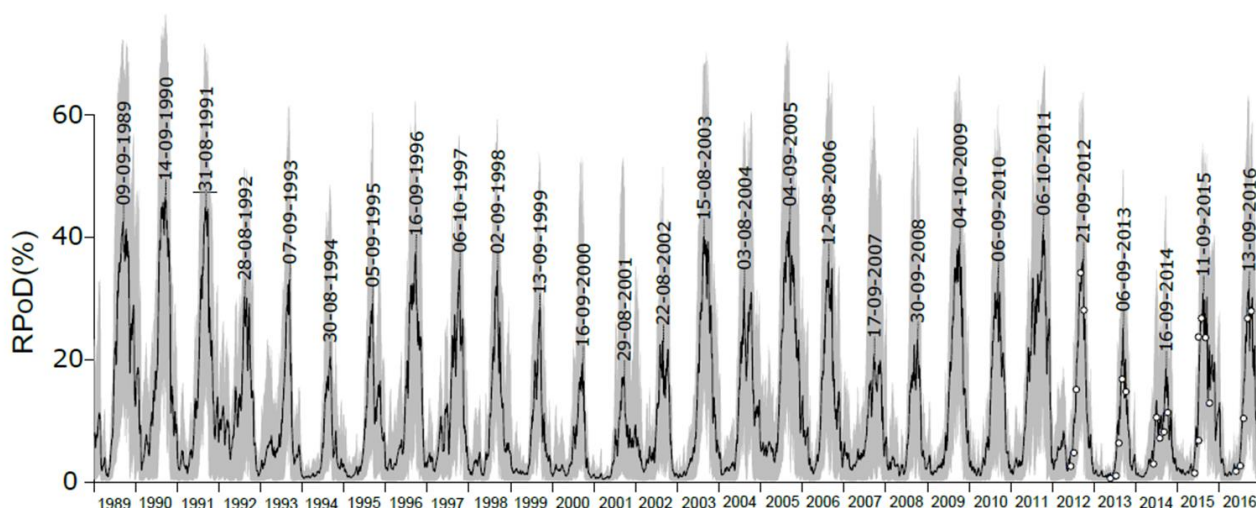


Figure 8 : RPoD simulée entre 1989 et 2016 avec le jeu de référence 1989-2017 avec le modèle LR. La zone grise représente le RPoD entre le 10e et le 90e percentile simulé sur l'ensemble des régions HER-RH, la courbe noire représente la RPoD moyenne simulée sur l'ensemble des régions HER-RH et les points blancs représentent les valeurs observées de RPoD moyenne. Les dates mentionnées correspondent au jour de la valeur moyenne maximale annuelle de RPoD

#### IV CONCLUSIONS

La connaissance du fonctionnement hydrologique et écologique des petits bassins versants (ou tête de bassin versant) est assez faible malgré leur prépondérance au sein du réseau hydrographique. Les données du réseau ONDE sont des données qualitatives qui permettent de mieux appréhender les régimes hydrologiques sur les petits cours d'eau.

Un développement innovant pour la reconstitution de la dynamique des assècs (passage des mesures discontinues à une chronologie décrivant de manière exhaustive les phases d'assèc aux échelles régionale et locale) a été engagé avec succès. Il combine les suivis ponctuels ONDE aux mesures des débits de la base de données HYDRO et de niveaux piézométriques de la base de données ADES. Un modèle empirique à base statistique a été mis en place pour prédire les probabilités d'assèc régionales sur l'ensemble de la France au pas de temps journalier à minima sur la période de disponibilité des données ONDE pendant cette étude 2012-2017.

Démonstration a été faite que les données ONDE sont utiles pour la connaissance des assècs en tête de bassin versant. Les analyses réalisées militent pour la poursuite de ce réseau : de par leur localisation, le réseau ONDE vient compléter l'information fournie par les réseaux conventionnels (i.e. les stations hydrométriques de la base de données HYDRO), les huit années d'observations ne suffisent pas à assurer la robustesse des modèles et les campagnes futures devraient réduire l'incertitude sur le paramétrage et les sorties des modèles.

#### V REFERENCES

- Beaufort A., Lamouroux N., Pella H., Datry T., Sauquet E. (2018). — Extrapolating regional probability of drying of headwater streams using discrete observations and gauging networks. *Hydrology and Earth System Sciences*, **22**(5), 3033–3051, doi:10.5194/hess-22-3033-2018.
- Brugeron A., Allier D., Klinka, T. (2012). — Approche exploratoire des liens entre référentiels hydrogéologique et hydrographique : Premières identifications des piézomètres potentiellement représentatifs d'une relation nappe/rivière et contribution à leur valorisation. Rapport final BRGM/RP-61047-FR.
- Caillouet L., Vidal J.-P., Sauquet E., Devers A., Graff B. (2017). — Ensemble reconstruction of spatio-temporal extreme low-flow events in France since 1871. *Hydrology and Earth System Sciences*, **21**(6), 2923–2951, doi:10.5194/hess-21-2923-2017.

- Costigan K. H., Jaeger K. L., Goss C. W., Fritz K. M., Goebel P. C. (2016). — Understanding controls on flow permanence in intermittent rivers to aid ecological research: integrating meteorology, geology and land cover: Integrating Science to Understand Flow Intermittence. *Ecohydrology*, **9(7)**, 1141–1153, doi:10.1002/eco.1712.
- De Girolamo A. M., Barca E., Pappagallo G., Lo Porto A. (2017). — Simulating ecologically relevant hydrological indicators in a temporary river system. *Agricultural Water Management*, **180**, 194–204, doi:10.1016/j.agwat.2016.05.034, 2017.
- Kelso J. E., Entrekin S. A. (2018). — Intermittent and perennial macroinvertebrate communities had similar richness but differed in species trait composition depending on flow duration. *Hydrobiologia*, **807(1)**, 189–206, doi:10.1007/s10750-017-3393-y, 2018.
- Nash J. E., Sutcliffe J. V. (1970). — River flow forecasting through conceptual models part I — A discussion of principles. *Journal of Hydrology*, **10(3)**, 282–290, doi:10.1016/0022-1694(70)90255-6, 1970.
- Nowak C., Michon J. (2016). — Onde, un dispositif pour surveiller et comprendre l'assèchement des cours d'eau en été, Onema, ([http://www.reseau.eaufrance.fr/webfm\\_send/5471](http://www.reseau.eaufrance.fr/webfm_send/5471)).
- Nowak C., Michon J. (2017). — Les écoulements des cours d'eau en période estivale (<https://www.eaufrance.fr/publications/les-ecoulements-des-cours-deau-en-periode-estivale-2017>).
- Stubbington R. et Datry T. (2013) — The macroinvertebrate seedbank promotes community persistence in temporary rivers across climate zones. *Freshwater Biology*, **58(6)**, 1202–1220, doi:10.1111/fwb.12121.
- Wasson, J.G., Chandesris, A., Pella, H., Blanc, L. (2002). — Définition des hydro-écorégions françaises métropolitaines. Rapport final Cemagref - MEDD.