

## **Synthèse de l'étude « scénarios sécheresse » du bassin Seine-Normandie**

Réalisée en février 2018 par Julien Boé et Milka Radojevic/Cerfacs-CNRS Toulouse

### **Objectif de l'étude : décrire des épisodes de sécheresse dans un futur proche**

L'objectif de cette étude est de décrire des "scénarios sécheresse" qui pourront ensuite être utilisés pour envisager et étudier les capacités d'adaptation du bassin Seine-Normandie aux changements futurs des sécheresses. Il ne s'agit pas de caractériser l'évolution la plus probable en ce qui concerne les sécheresses, mais de sélectionner quelques épisodes de sécheresses intenses pour évaluer la capacité de différents systèmes socio-économiques du bassin à y faire face. Tout d'abord, l'évolution des sécheresses sur le bassin Seine-Normandie dans un ensemble de projections hydrologiques récentes est caractérisée à l'aide des simulations. La sélection de quelques épisodes intéressants pour les études d'impacts futures est ensuite réalisée. Ces derniers sont finalement décrits et analysés.

Ces épisodes sont recherchés sur la période 2031-2060 pour rester dans un futur relativement proche, pertinent en termes d'adaptation. On choisit de s'intéresser plus précisément à des périodes de 6 ans, qui permettent de considérer la répétition des conditions de sécheresses sur quelques années consécutives. À noter que dans toutes les simulations hydrologiques étudiées dans ce projet, les potentiels effets anthropiques non-climatiques (e.g. pompes, barrages) sur l'hydrologie ne sont pas pris en compte.

### **Qu'appelle-t-on « sécheresse » ?**

On entend généralement par sécheresse une « période limitée dans le temps au cours de laquelle les conditions sont plus sèches que la normale ». Ce qu'on appelle la normale, et donc par suite les sécheresses, est le plus souvent relatif à un lieu donné (e.g. la valeur brute d'humidité des sols pour une sécheresse dans le nord pourrait être considérée comme normale dans le sud), et peut être aussi relatif à une période de l'année. Par exemple, il est possible de définir des sécheresses pour les débits du mois de janvier, lorsque les conditions sont plus sèches que la normale de ce mois, même si les débits normaux sont alors relativement élevés. Si on raisonne par rapport à la normale annuelle, des conditions de sécheresse en janvier seront impossibles à atteindre ou tout du moins totalement exceptionnelles.

Différents types de sécheresse existent : sécheresses agricoles, touchant l'humidité du sol, sécheresses hydrologiques touchant les débits, sécheresses météorologiques touchant les précipitations, sécheresses hydrogéologiques touchant les aquifères. Si ces différentes sécheresses sont en partie liées au travers de mécanismes communs, elles ne sont pas équivalentes. Comme les sécheresses météorologiques (en lien avec la pluie) sont surtout importantes au travers des impacts qu'elles peuvent avoir sur les débits et l'humidité des sols, on se focalise directement dans ce travail sur les sécheresses agricoles et hydrologiques. Les sécheresses hydrogéologiques sont aussi étudiées de façon secondaire.

### **Indices utilisés dans cette étude pour caractériser les sécheresses**

Pour les sécheresses agricoles, nous utilisons le Soil Wetness Index (SWI), un indice d'humidité des sols.

La sécheresse hydrologique est repérée grâce à un indice basé sur le volume consécutif minimal pour 3 jours (VCN3) de période de retour 5 ans. En pratique, pour chaque station on calcule la moyenne glissante des débits journaliers sur 3 jours. On cherche alors chaque année le minimum, et on calcule la valeur correspondant à une période de retour 5 ans pour définir le seuil de sécheresse, tout cela sur la période de référence (1958-2005). Une période de sécheresse est définie comme une période pour laquelle la moyenne glissante du débit sur 3 jours est sous le seuil.

Pour la sécheresse hydrogéologique, un indice piézométrique standardisé (IPS) pour les mailles avec nappe libre ainsi que leur moyenne est calculé, selon la même procédure que pour les sécheresses agricoles.

La sévérité d'une sécheresse est définie comme la différence relative entre l'indice (e.g. SWI standardisé ou moyenne glissante des débits sur 3 jours) moyenné pendant une sécheresse donnée et la valeur moyenne de l'indice pour toutes les sécheresses de la période 1961-1990.

### **Modèles utilisés pour les simulations**

Les projections hydrologiques réalisées par Gildas Dayon dans sa thèse en 2015 sont utilisées, basées sur le modèle hydro-météorologique ISBA-MODCOU. Des projections sont réalisées pour différents scénarios d'évolution des émissions de gaz à effets de serre, et principalement sur le RCP 8.5, le scénario « laisser-faire » (le plus émissif) du GIEC, sachant qu'à l'horizon 2030-2060, le scénario RCP 4.5, intermédiaire entre le « laisser-faire » et le plus volontariste, également testé, ne donne pas de résultats sensiblement différents (la démarcation de ces scénarios a lieu à partir de la seconde moitié de siècle).

Au total, 15 projections hydrologiques sur la période 1950-2100 sont étudiées à partir de 9 modèles climatiques issus de la quarantaine de modèles climatiques utilisés pour le dernier rapport du Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat (GIEC)<sup>1</sup>. Pour 2 des modèles utilisés, respectivement 3 et 5 projections climatiques différant uniquement par les conditions initiales (autour de 1850) sont étudiées afin de caractériser les incertitudes dues à la variabilité interne climatique : de petites différences de conditions initiales peuvent en effet se traduire par des évolutions au jour le jour assez différentes.

### **Simulation des sécheresses passées sur le bassin Seine-Normandie**

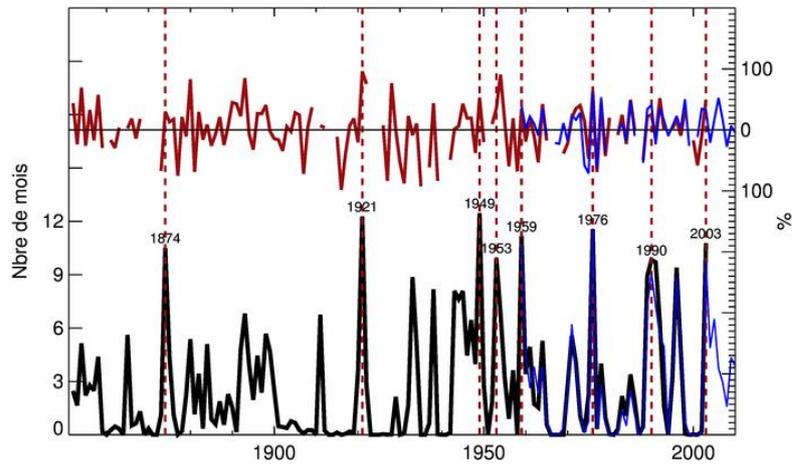
Les figures suivantes présentent le nombre de jours passés respectivement en sécheresse agricole sur l'ensemble du bassin (fig.1) et en sécheresse hydrologique sur la Seine à Paris (fig.2), et la sévérité de ces sécheresses (graphe du haut).

On retrouve les années de grandes sécheresses historiques connues comme 1921 et 1949 (quasi-équivalentes à 1921 en termes d'occurrence mais un peu moins sévère), 1976 (sauf pour l'hydrologie) ou encore 2003. En 1921 et 1949 la quasi-intégralité du bassin Seine-Normandie était en sécheresse agricole pour tous les mois de l'année.

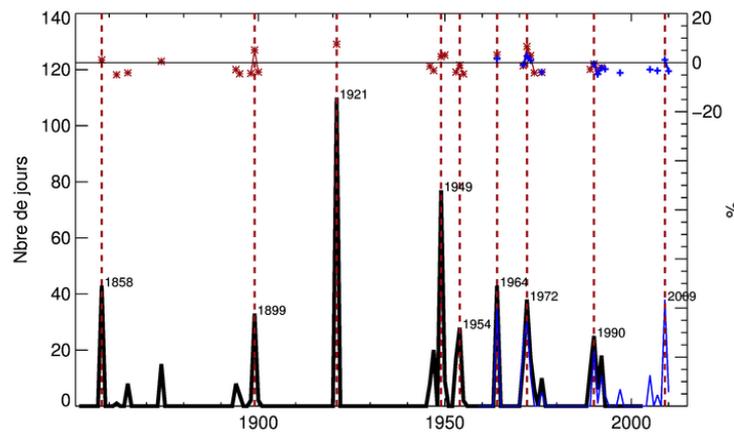
Il faut noter que les résultats des figures 1 et 2 ne sont pas directement comparables, les sécheresses agricoles correspondant à une moyenne sur le bassin entier tandis que les sécheresses hydrologiques sont seulement simulées sur un cours d'eau en un point donné.

---

<sup>1</sup> Les données nécessaires à la méthode de désagrégation décrite dans la thèse de Gildas Dayon ne sont pas disponibles pour tous les modèles CMIP5 (Coupled Model Intercomparison Project Phase 5) ; d'autre part certains de ces modèles CMIP5 sont très similaires : les utiliser tous n'est pas forcément souhaitable en raison des problèmes d'interdépendance associés.



**Fig.1 Nombre de mois par an en sécheresse agricole en moyenne sur le bassin Seine- Normandie et « sévérité » moyennes des évènements**



**Fig.2 Nombre de jours par an en sécheresse hydrologique pour la Seine à Paris et « sévérité » moyennes des évènements**

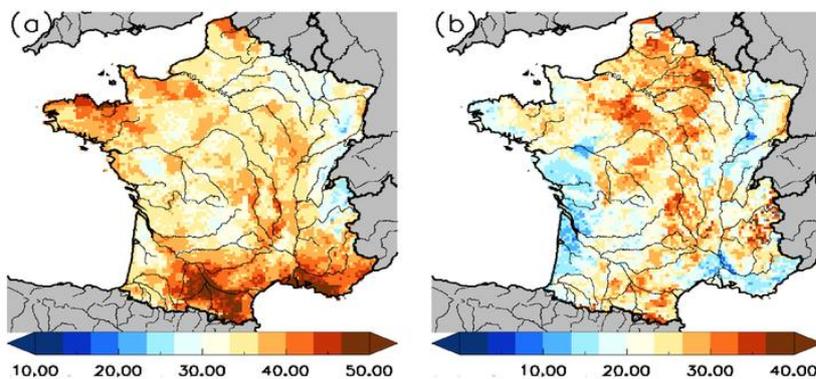
### Simulations sur la période 2031-2060

Les 14 simulations réalisées pour le scénario RCP 8.5 indiquent des effets marqués des sécheresses sur le bassin Seine-Normandie :

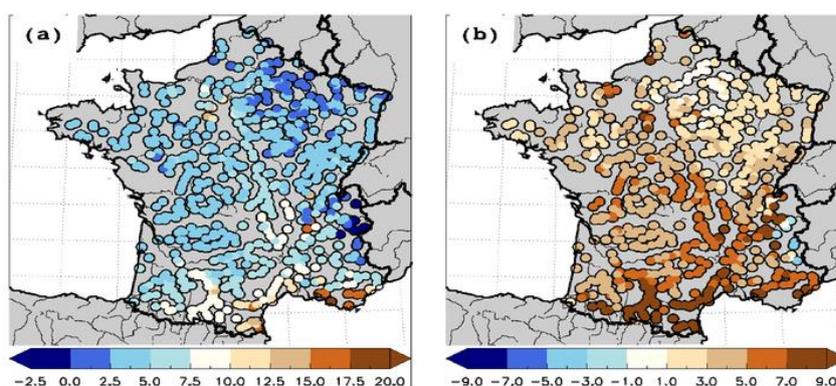
- Les sécheresses agricoles (humidité du sol inférieure à un seuil) deviennent en général plus sévères et plus longues que sur la période passée ;
- Le temps passé en sécheresse hydrologique (inférieur à un seuil de débit) est décuplé avec cependant une incertitude importante et des différences entre simulations ; la durée moyenne de ces sécheresse s'allonge également (de quelques jours à une ou deux dizaines) ;
- La forte sécheresse de 1944-1949, considérée comme exceptionnelle dans le temps passé, devient normale dans les projections futures.

Les figures suivantes montrent les résultats moyens de ces simulations en termes de proportion du temps passé en sécheresse (a) et de sévérité des sécheresses (b) pour le scénario RCP 8.5, sur toute la France.

Tout d'abord pour les sécheresses agricoles (fig.3) :

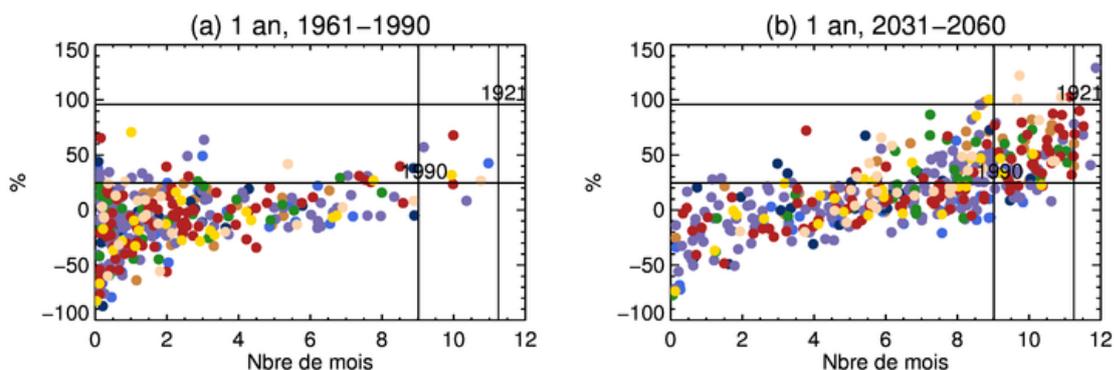


Puis pour les sécheresses hydrologiques (fig.4) :



### Sélection et description de 3 épisodes « sévères » et d'un épisode « modéré »

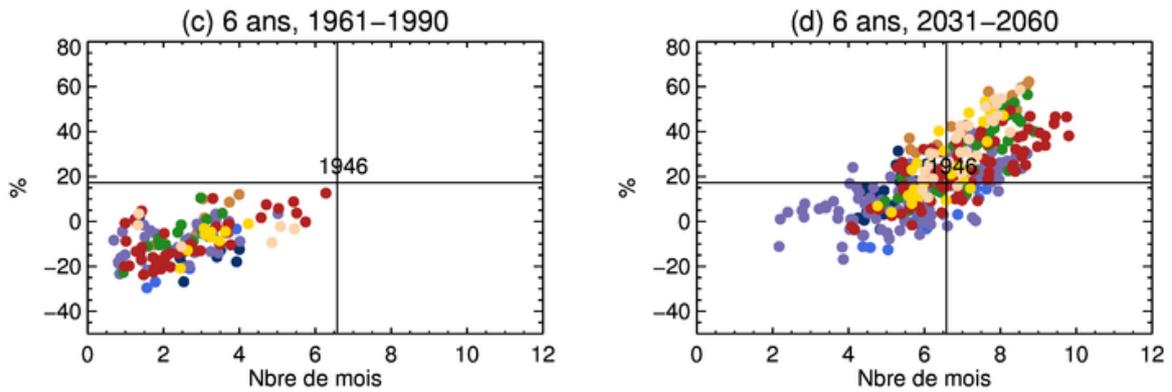
Il s'agit à ce stade de l'étude de rechercher 3 épisodes critiques en termes de sécheresse et un épisode plus normal pour comparaison, sur la période 2031-2060, et en particulier sur des durées de 6 ans. Cette recherche est basée principalement sur l'occurrence et la sévérité des sécheresses agricoles et hydrologiques. La situation de chaque simulation (un point par simulation, une couleur par modèle, sachant qu'un modèle donné peut avoir donné lieu à plusieurs simulations avec des conditions initiales différentes) en termes d'occurrence et de sévérité, est présentée dans les figures suivantes, respectivement sur la période passée (1961-1990) et future (2031-2060).



**Fig. 5 Situation de chaque simulation en matière de sécheresses agricoles :**

Occurrence versus sévérité, moyennes SN (1 point = 1 an. 1 couleur = 1 simulation climatique). La caractérisation en termes d'occurrence et de sévérité des sécheresses de références historiques est indiquée par les croisillons.

On voit avec la figure 5 que la sécheresse agricole de 1990, considérée comme rare dans le passé, devient quasiment normale dans le futur. La sécheresse de 1921, considérée comme extrêmement rare, devient rare.

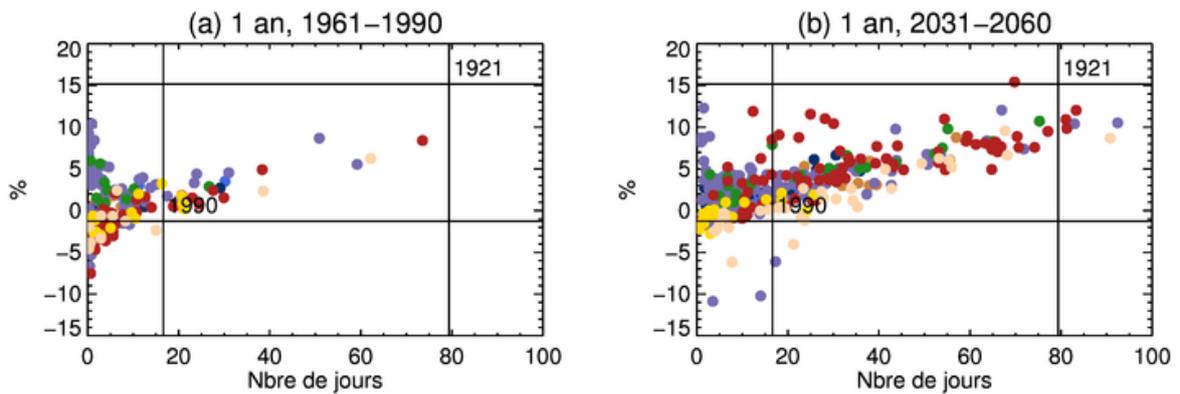


**Fig. 6 Situation de chaque simulation en matière de sécheresses agricoles:**

Moyenne glissante sur 6 ans. Occurrence versus sévérité, moyennes SN (1 point = 6 ans. 1 couleur = 1 simulation climatique) - Références historiques (1946=> 1944-1949): croisillon

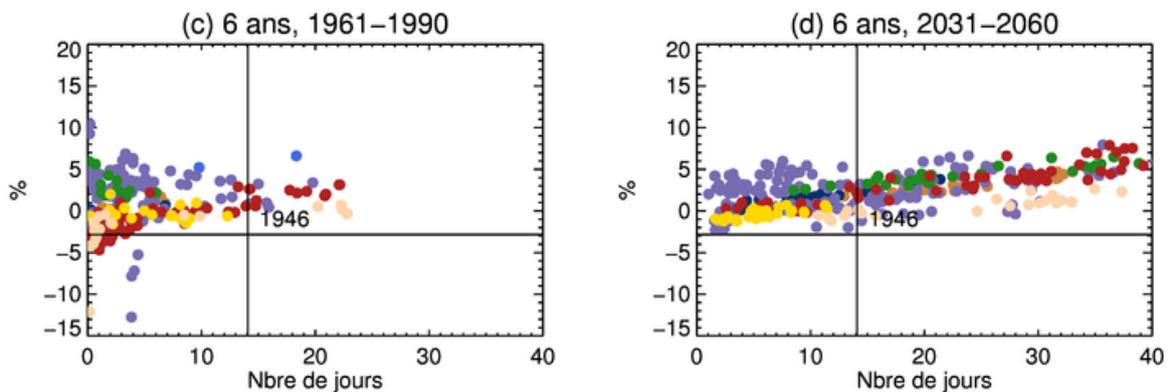
La figure 6, qui indique pour chaque simulation la moyenne de 6 années consécutives, montre que la sécheresse de 1944-1949, considérée comme rare dans le passé, devient normale dans le futur.

Le même exercice est réalisé avec les sécheresses hydrologiques :



**Fig. 7 Situation de chaque simulation en matière de sécheresses hydrologiques:**

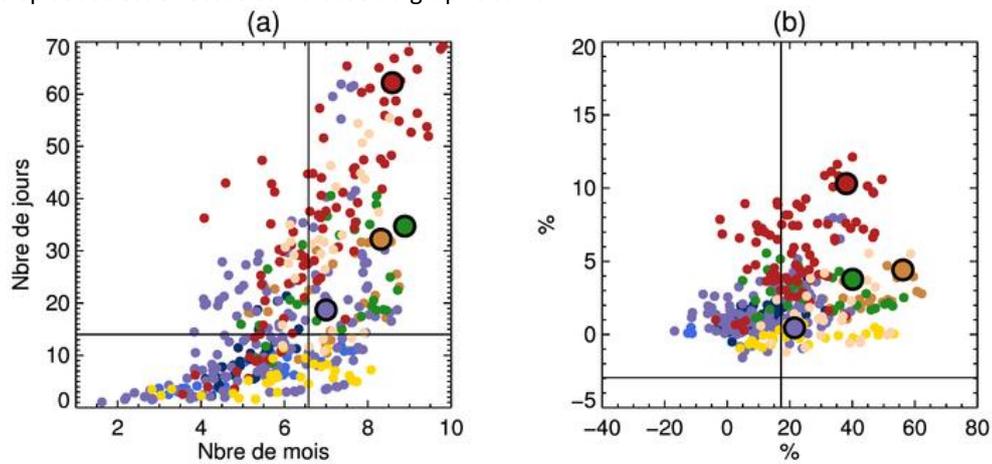
Moyenne glissante sur 6 ans. Occurrence versus sévérité, moyennes SN (1 point = 1 an. 1 couleur = 1 simulation climatique) - Références historiques: croisillons



**Fig. 8 Situation de chaque simulation en matière de sécheresses hydrologiques :**

Moyenne glissante sur 6 ans. Occurrence versus sévérité, moyennes SN (1 point = 6 ans. 1 couleur = 1 simulation climatique)  
Références historiques: croisillons

Le choix des épisodes est effectué sur la base du graphe suivant :



**Fig.9 Choix des épisodes de sécheresse**

(a) Occurrence sécheresse sur 6 ans agro vs hydro

(b) Sévérité sécheresses sur 6 ans agro vs hydro

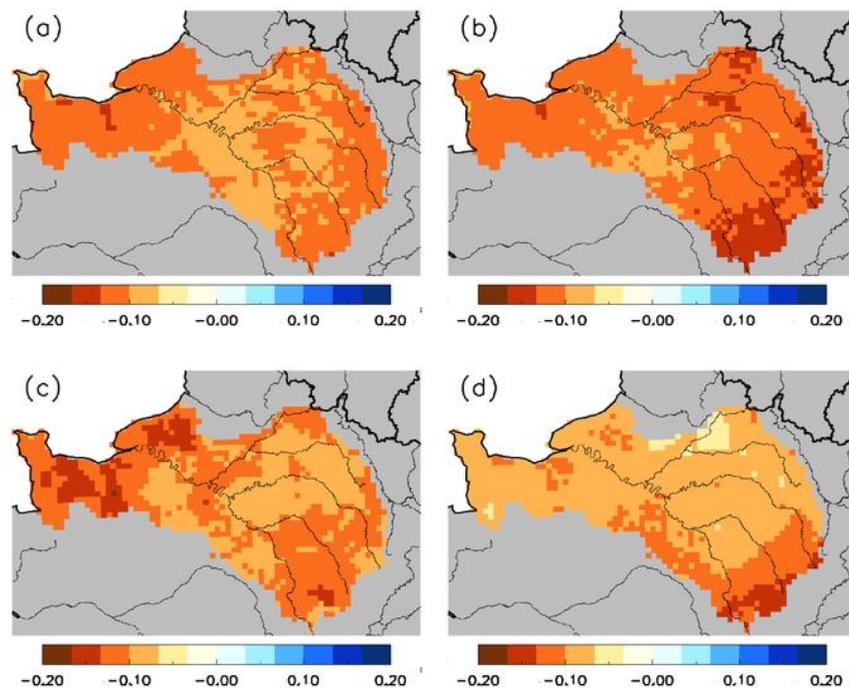
1 point = 6 ans. 1 couleur = 1 modèle climatique

Références historiques: croisillon 1946 (sécheresse de 1944-1949)

Les épisodes choisis sont entourés.

### Analyse des épisodes choisis

Les figures suivantes montrent les effets spatialisés de ces sécheresses.



**Fig. 10 Sévérité des sécheresses agricoles (Anomalies de SWI moyennes sur les 6 ans)**

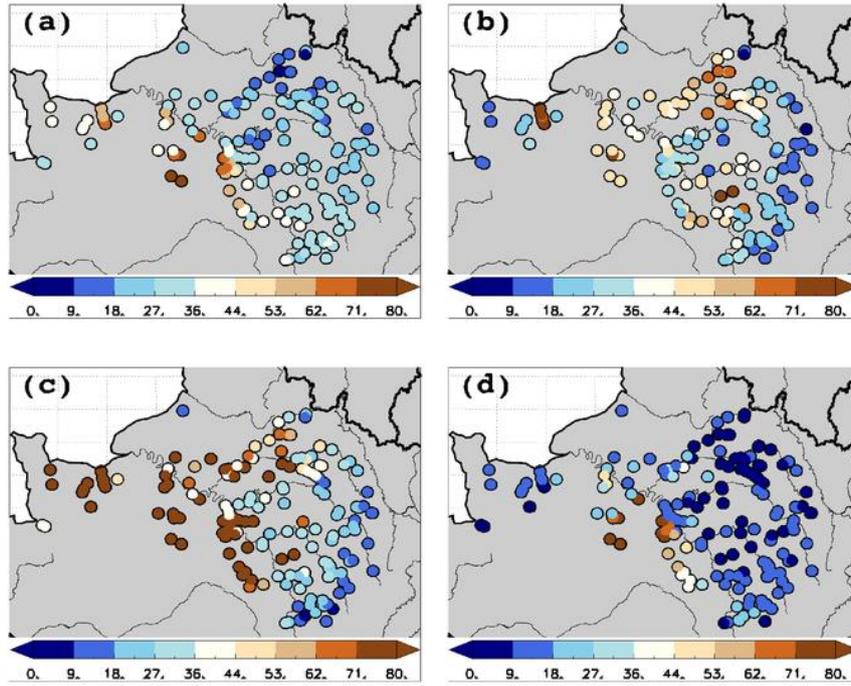


Fig.11 Nombre de jours par an passés en sécheresse hydrologique en moyenne sur la période de 6 ans

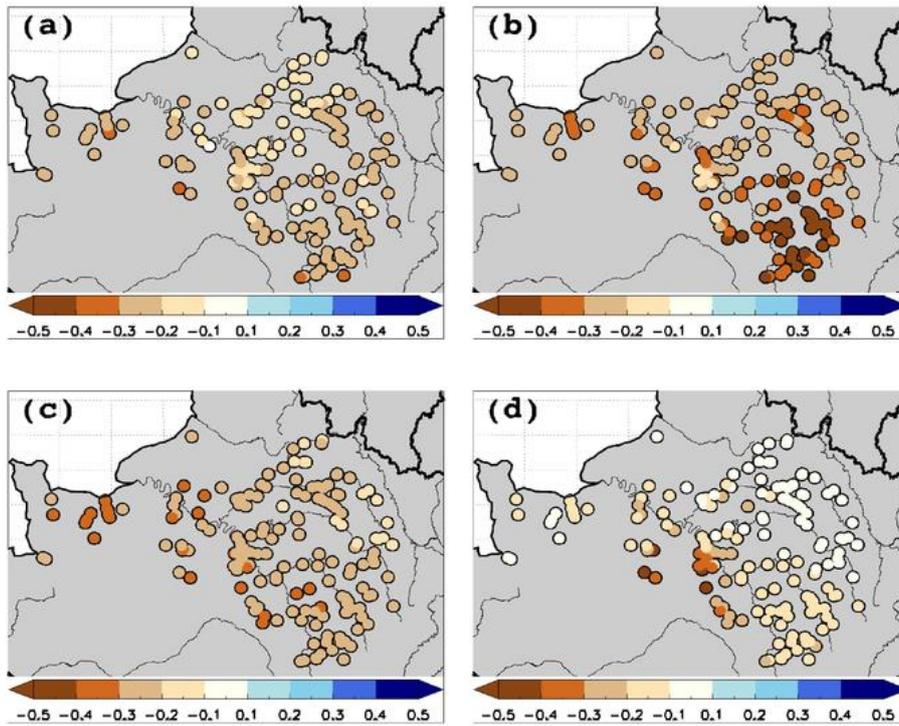


Fig. 12 Anomalie relative des débits moyenne sur les 6 ans

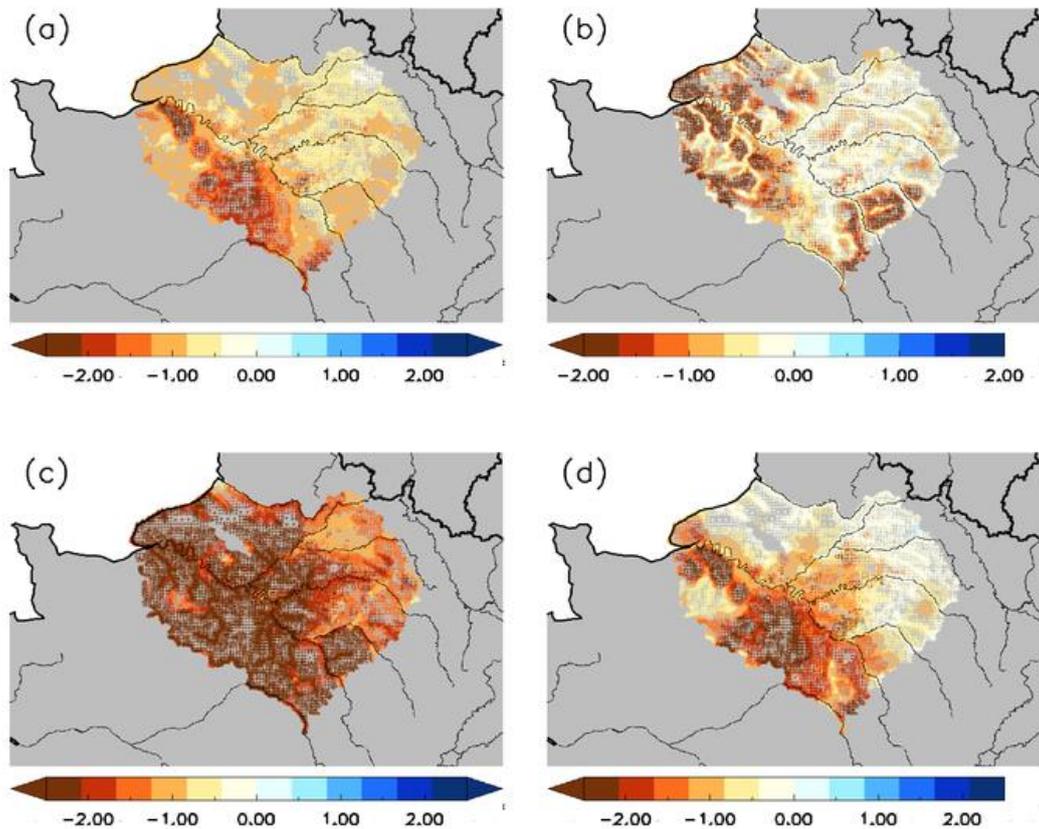


Fig. 13 Anomalie d'indice piézométrique standardisé sur les 6 ans

**En conclusions, l'analyse de ces épisodes donne les résultats suivants :**

- Entre 6 et 11 mois par an en moyenne sont passés en sécheresse agricole pour les 3 épisodes de sécheresse critiques et quelques mois de moins pour l'épisode modéré.
- Les anomalies moyennes de SWI sur les 6 ans des épisodes sont fortement négatives selon la sécheresse et la zone, ce qui témoigne d'un fort assèchement moyen des sols au cours des épisodes.
- Pour les débits, une forte variabilité spatiale du nombre de jours par an passés en sécheresse existe au sein des événements sélectionnés et entre les différents événements, avec des valeurs allant de 10 à 80 jours pour les épisodes sévères, avec des diminutions de 20 à 50% des débits. Pour l'épisode modéré, les anomalies sont fortes dans le sud du bassin et moins fortes dans le nord.
- La variabilité interannuelle des sécheresses hydrologiques est forte, avec des années caractérisées par un grand nombre de jours de sécheresse sur le bassin et des années avec peu ou pas de sécheresse.
- En termes de niveau piézométrique, les épisodes sélectionnés sont caractérisés par des baisses fortes (y compris pour l'épisode « modéré »).
- En termes de précipitation, les épisodes décrits sont assez différents les uns des autres (pour deux d'entre eux, fort déficit de pluie au printemps et en été, pour le 3<sup>ème</sup> rien de tel, pour l'épisode « modéré », une augmentation en hiver et un été très déficitaire).
- L'évapotranspiration augmente en saison humide par rapport à l'actuel, du fait de l'augmentation de l'énergie disponible à la surface, avec la hausse de la température. L'augmentation printanière et hivernale de l'évapotranspiration ainsi que la fréquente diminution des précipitations estivales conduisent à un assèchement des sols forts en été, qui ne peuvent plus soutenir l'évapotranspiration ; celle-ci diminue alors.