

Séminaire de restitution CLIMSEC, Toulouse, 30 juin 2011

Apports méthodologiques pour la caractérisation des événements de sécheresse

Résultats du projet CLIMSEC

Jean-Philippe Vidal^{1,2}

¹ CNRM-GAME, Météo-France/CNRS

² Cemagref, UR Hydrologie-Hydraulique



Plan de la présentation

1. Safran-Isba-Modcou

- Réanalyse atmosphérique Safran
- Schéma de surface Isba
- Modèle hydrogéologique Modcou

2. Indices de sécheresse

- Définitions et méthodes
- Périodes sèches
- Propagation le long du cycle hydrologique

3. Des indices aux événements

- Approche
- Caractéristiques à l'échelle locale
- Caractéristiques à l'échelle nationale
- Événements nationaux de référence

4. Conclusions

1. Safran-Isba-Modcou (SIM)



Safran-Isba-Modcou

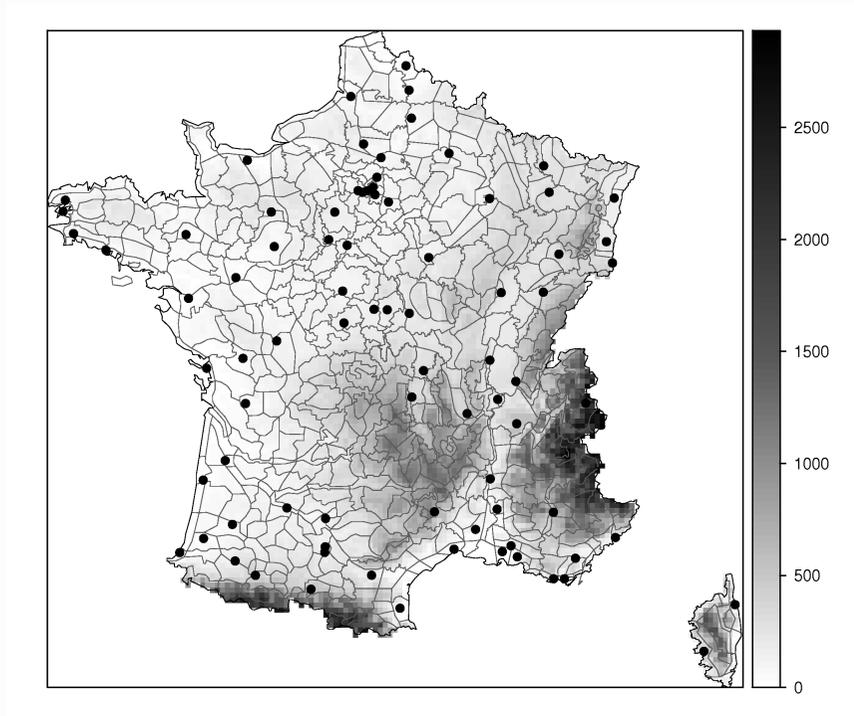
Safran

Système d'analyse
atmosphérique

Interpolation Optimale
ERA-40 + observations

Précipitations liquides et solides,
température, humidité, vitesse du vent,
rayonnements visible et infrarouge
(8 km, horaire)

Systeme d'analyse atmospherique Safran



Zones climatiquement homogenes
(zonage Symposium)

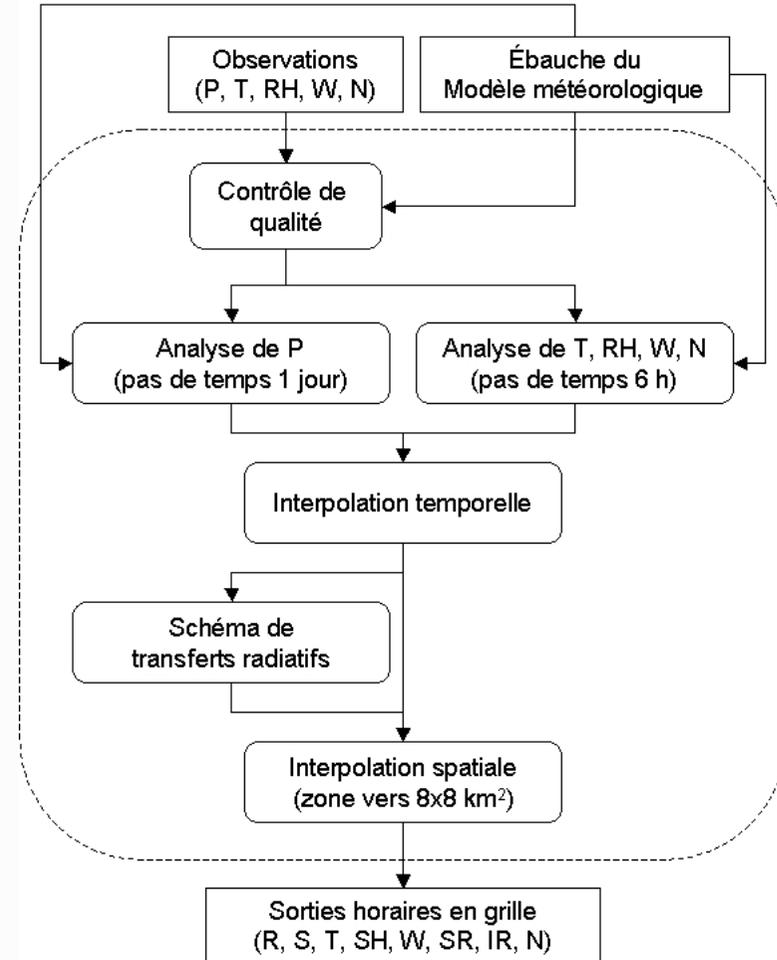


Diagramme fonctionnel

Système d'analyse atmosphérique Safran

- **Travaux effectués précédemment**

- Validation des procédures de calcul sur la France
- Réanalyse atmosphérique sur la période 1970-2007

- **Dans le cadre du projet ClimSec**

- Extension de la réanalyse à 1958-2008
- Validation climatologiques des produits finis en grille

- **Résultats**

- Biais faible et relativement constant sur la période étudiée
- Augmentation de la qualité de la réanalyse avec le temps, liée à l'augmentation du nombre d'observations
- Nombreux autres éléments de validation dans :

Vidal J.-P., Martin E., Franchistéguy L., Habets F., Soubeyroux J.-M., Blanchard M. & Baillon M. (2010) **A 50-year high-resolution atmospheric reanalysis over France with the Safran system**. *International Journal of Climatology*, 30(11), 1627-1644. doi: 10.1002/joc.2003

Safran-Isba-Modcou

Safran

Système d'analyse
atmosphérique

*Interpolation Optimale
ERA-40 + observations*

Précipitations liquides et solides,
température, humidité, vitesse du vent,
rayonnements visible et infrarouge
(8 km, horaire)



Isba

Schéma de
Surface

*Calcul des bilans d'eau
et d'énergie avec bases
de données de sol et de
végétation (ECOCLIMAP)*

Évapotranspiration, humidité du sol,
manteau neigeux, infiltration,
écoulement, etc.
(8 km, 5 min)

$$SWI = \frac{w - w_{wilt}}{w_{fc} - w_{wilt}}$$

- w : contenu en eau
- w_{wilt} : point de flétrissement
- w_{fc} : capacité au champ

Safran-Isba-Modcou

Safran

Système d'analyse
atmosphérique

*Interpolation Optimale
ERA-40 + observations*

Précipitations liquides et solides,
température, humidité, vitesse du vent,
rayonnements visible et infrarouge
(8 km, horaire)

Isba

Schéma de
Surface

*Calcul des bilans d'eau
et d'énergie avec bases
de données de sol et de
végétation (ECOCLIMAP)*

Évapotranspiration, humidité du sol,
manteau neigeux, infiltration,
écoulement, etc.
(8 km, 5 min)

$$SWI = \frac{w - w_{wilt}}{w_{fc} - w_{wilt}}$$

- w : contenu en eau
- w_{wilt} : point de flétrissement
- w_{fc} : capacité au champ

Infiltration et écoulement

Modcou

Modèle
hydrogéologique

*Transfert des écoulements,
aquifères multicouches*

Débits (tri-horaires),
niveaux des nappes (1-8 km)

- **SIM : Réanalyse hydrométéorologique**
 - **France entière**
 - **Période** : 1er août 1958 – 31 juillet 2008 (plus mises à jour)
 - **Variables météorologiques et hydrologiques**
 - **Résolution spatiale** : 8 km / 900 stations hydrométriques
 - **Résolution temporelle** : horaire / tri-horaire

2. Indices de sécheresse

Définitions

- **Sécheresse** : déficit en eau **anormal** dans une (ou plusieurs) parties du cycle hydrologique terrestre
- Le choix d'un indice de sécheresse pertinent dépend fortement du **domaine d'activité socio-économique** considéré
 - ⇒ **Pas d'indice de sécheresse universel**
 - ⇒ Nécessité de prise en compte de différents éléments du cycle hydrologique
- **SIM** : calcul cohérent des variables le long de ce cycle

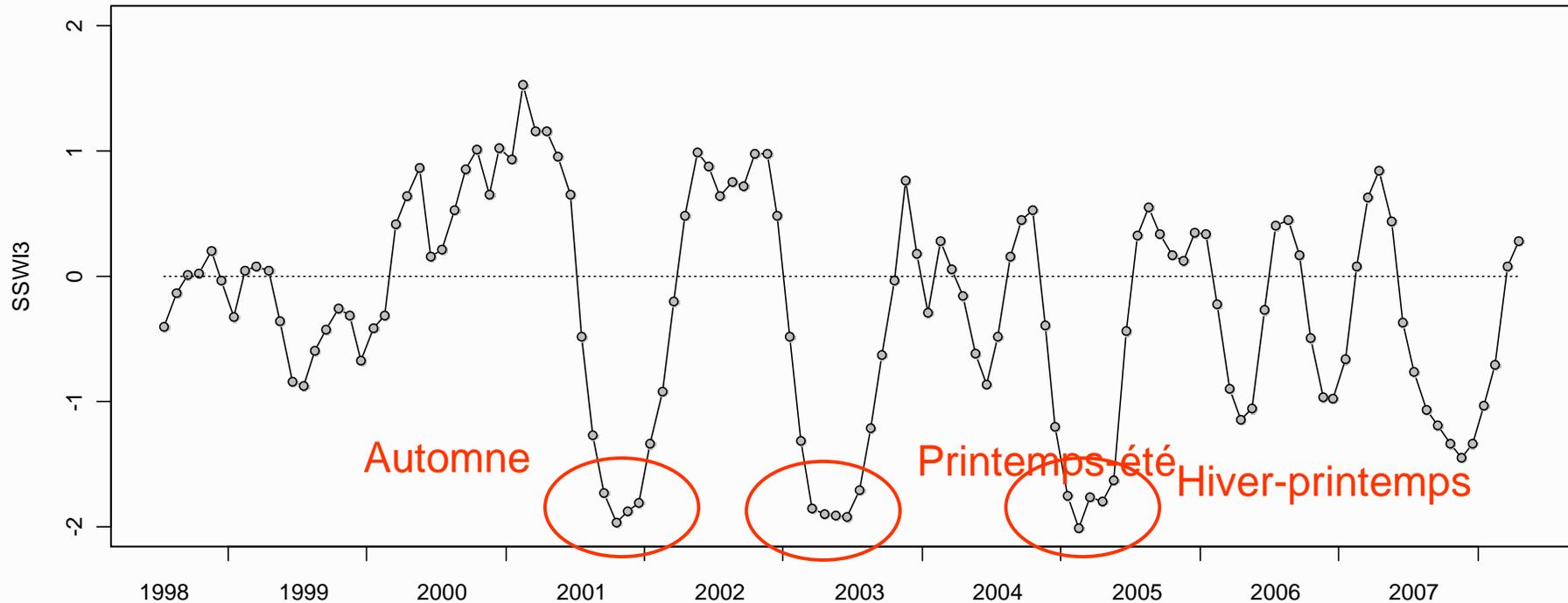
| | Variable | Type de sécheresse |
|--------|--------------------|---------------------------|
| Safran | Précipitations | Météorologique |
| Isba | Soil Wetness Index | Agricole |
| Modcou | Débits | Hydrologique |

Méthodes

- **Approche inspirée du Standardized Precipitation Index**
 - **Indice recommandé par l'OMM** pour les sécheresses météorologiques (Dec. 2009)
 - **Variable mensuelle** sommée/moyennée sur n mois glissants
 - **Distribution statistique** pour chaque mois de l'année et chaque maille/station
 - **Projection quantile-quantile** sur une distribution normale
- **Avantages**
 - Calcul en référence au **climat local** sur 50 ans
 - Correspondance **valeur de l'indice / probabilité de non-dépassement**
 - **Cohérence spatiale**
 - **Différentes échelles de temps d'intégration** : 1 à 24 mois
- **Indices**
 - Standardized Precipitation Index (**SPI**) → maillage 8 km
 - Standardized Soil Wetness Index (**SSWI**) → maillage 8 km
 - Standardized Flow Index (**SFI**) → >900 stations hydrométriques

Exemple : SSWI3 à Toulouse

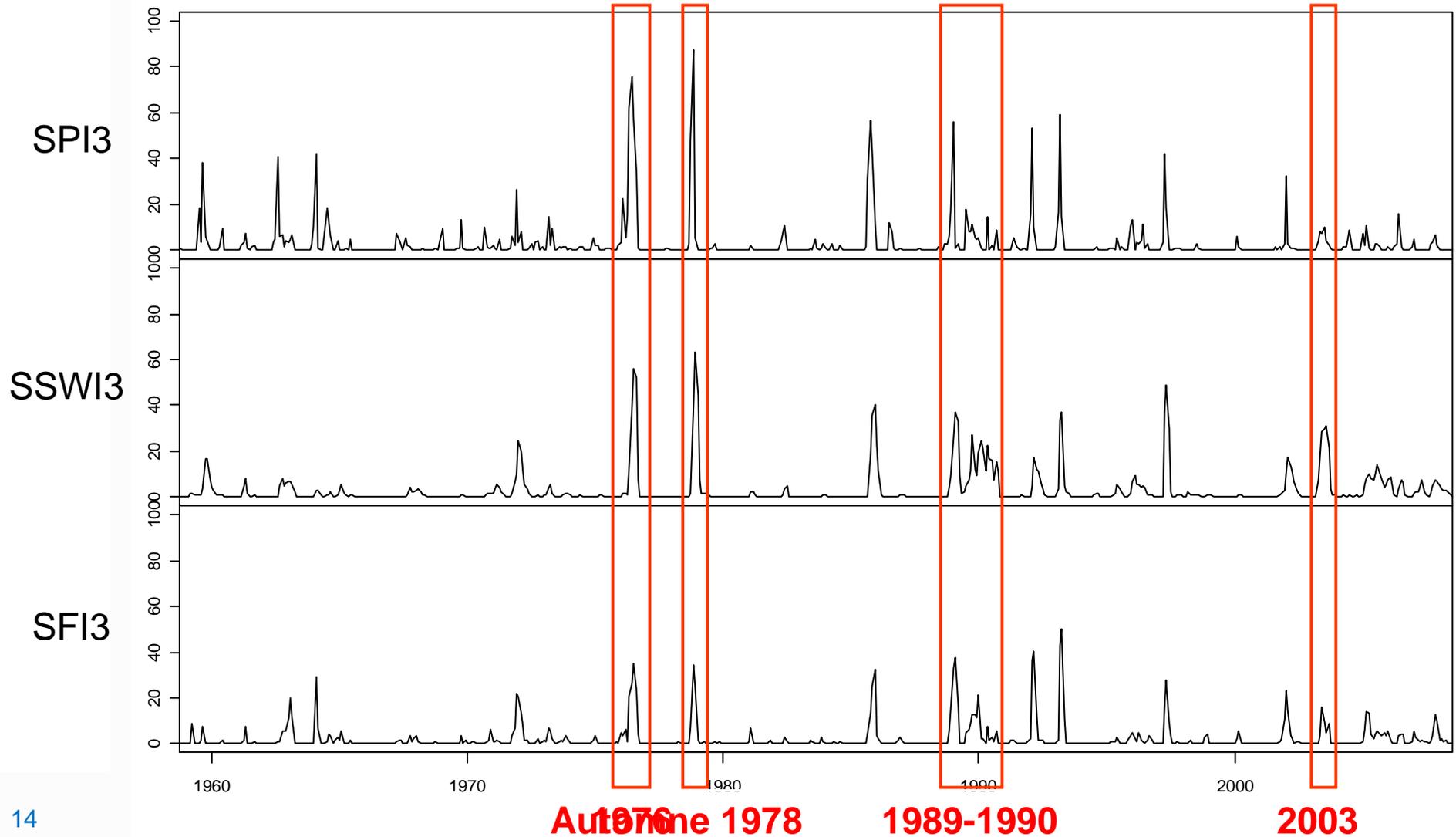
- Déficit d'humidité du sol moyen sur 3 mois



- Indices normalement distribués sur la période 1958-2008
- Affranchissement de l'effet saisonnier

Périodes sèches

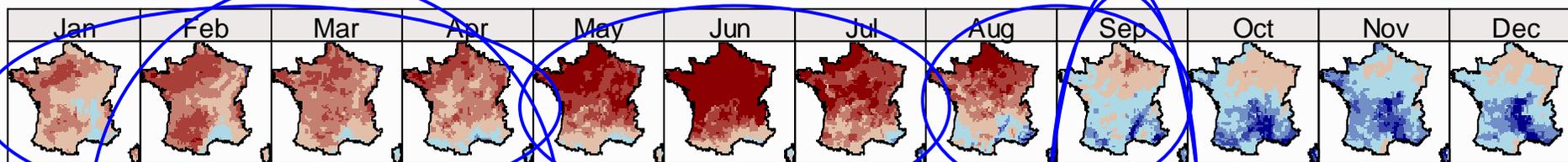
Surface affectée par la sécheresse (% de la France), indices sur 3 mois, seuil 5%



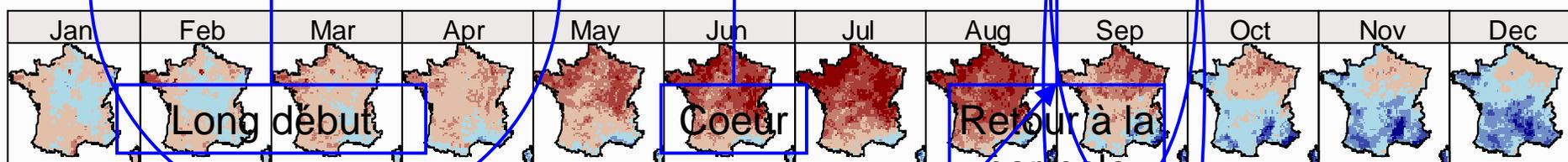
Propagation le long du cycle hydrologique

Année 1976, indices sur 3 mois, classes traditionnelles du SPI

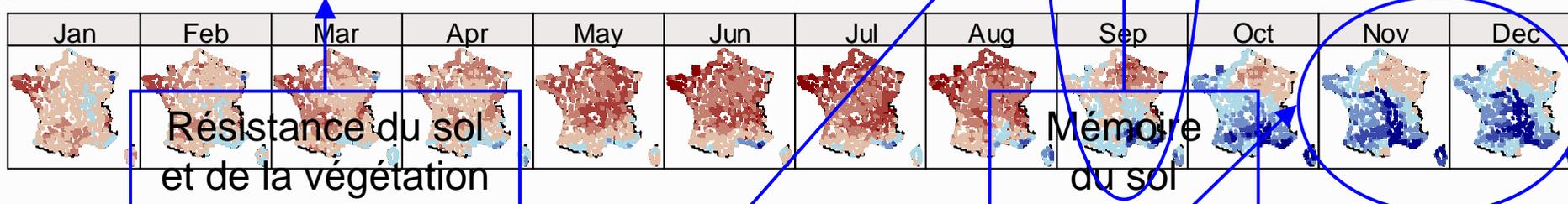
SPI3



SSWI3



SFI3

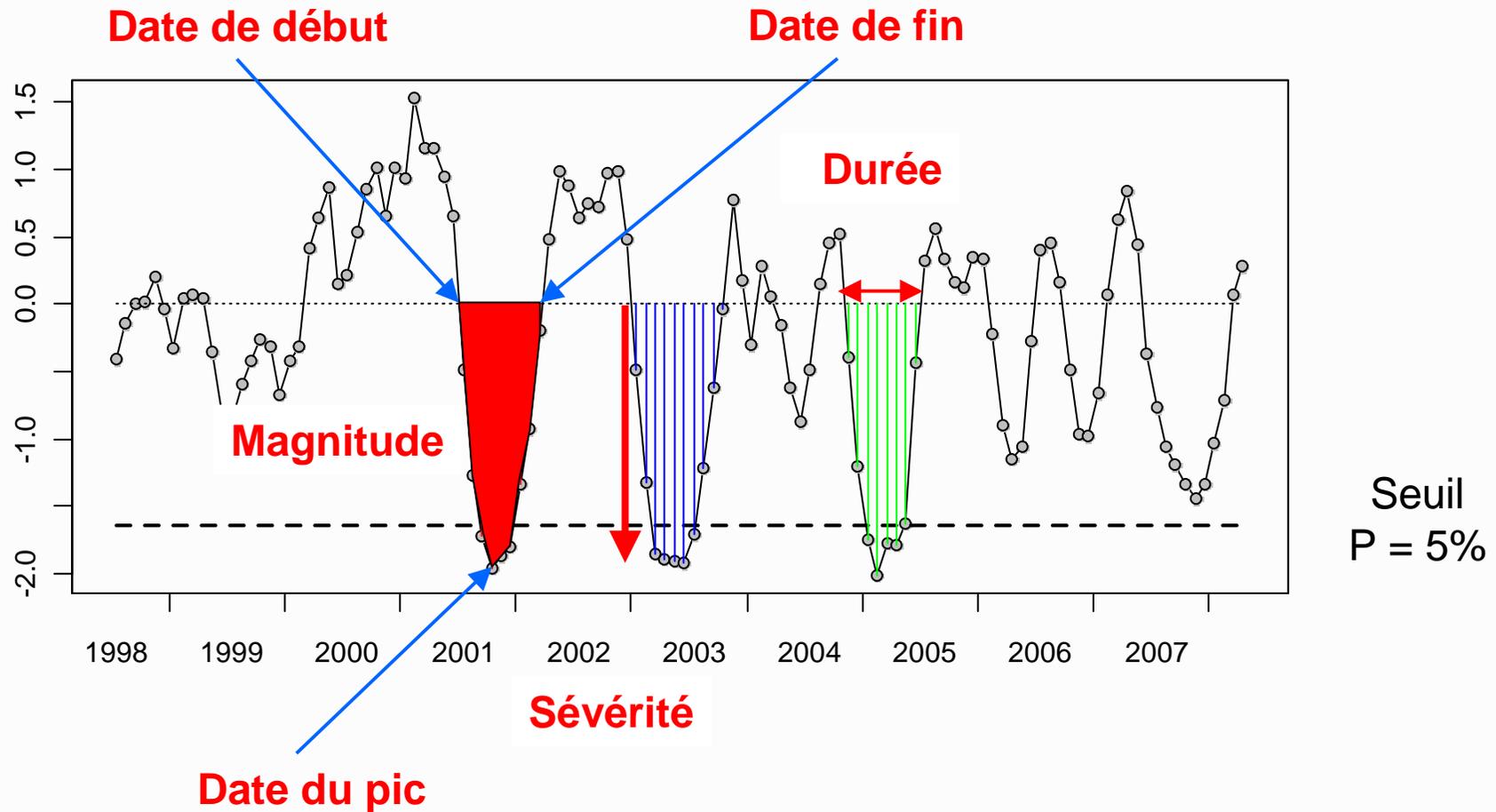


- Sécheresse extrême
- Sécheresse sévère
- Modérément sec
- Légèrement sec
- Légèrement humide
- Modérément humide
- Très humide
- Extrêmement humide

“Conditions très humides” de débit
 Fortes pluies convectives
 se propageant vers l’aval
 sur un sol plutôt sec
 sur la Loire et l’Allier
 ⇒ Forts écoulements

3. Des indices aux événements

Approche : exemple



Maille proche de Toulouse, SSWI3

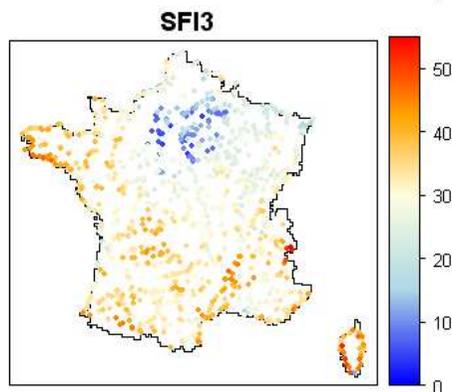
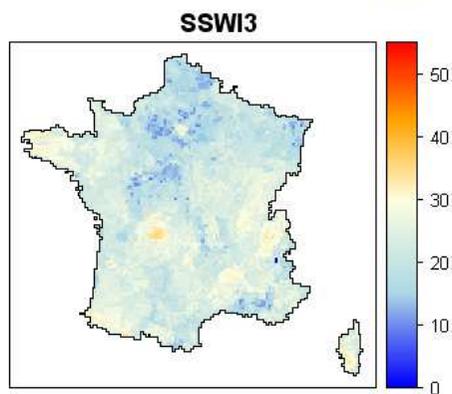
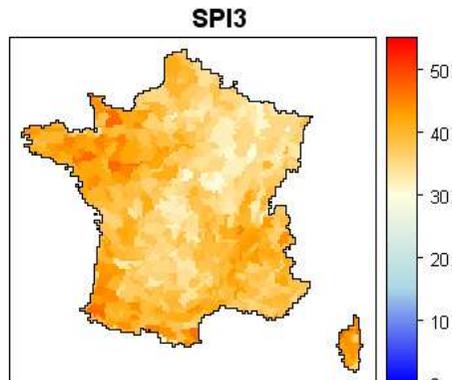
Approche : questions

- **Questions centrales sur un événement de sécheresse sévère ($P < 20\%$)**
 1. Est-ce qu'un tel événement se produit souvent ?
 2. Combien de temps dure-t-il ?
 3. Quelle est sa magnitude ?
 4. En quelle saison est-il le plus susceptible de débuter ?

- **Indices de sécheresse**
⇒ Réponses climatologiques sur la variabilité spatiale des caractéristiques

- **Analyse à l'échelle de la France**
 - 3 types d'indices : SPI, SSWI et SFI
 - Pas de temps d'intégration : 3, 6 et 12 mois

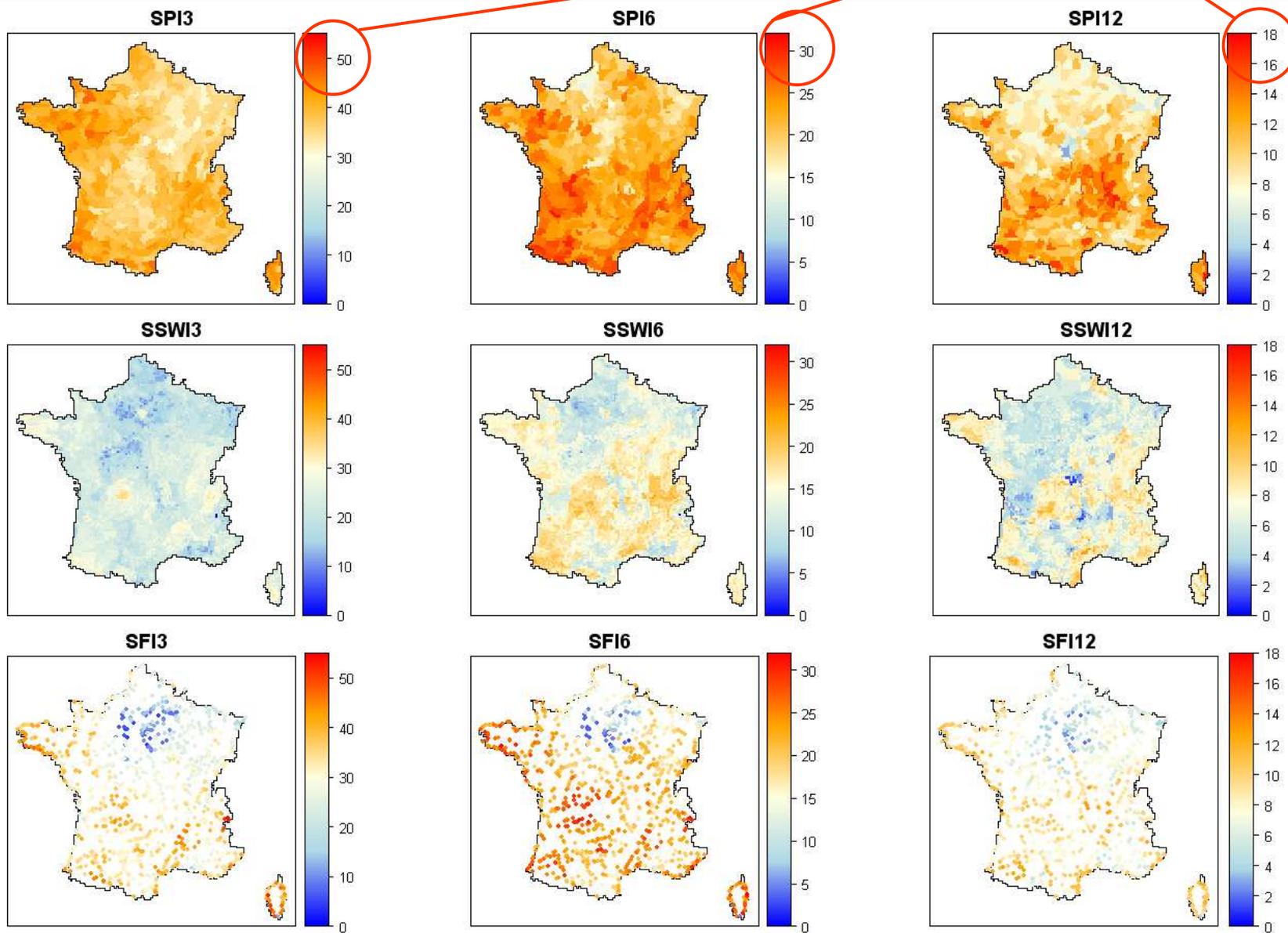
1. Nombre d'événements



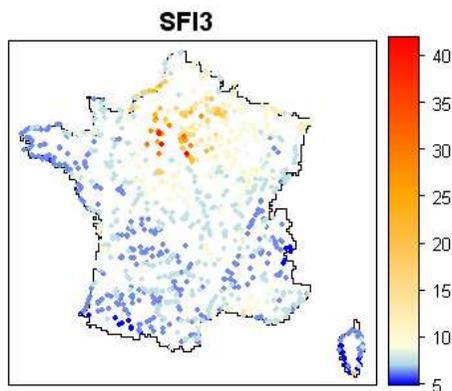
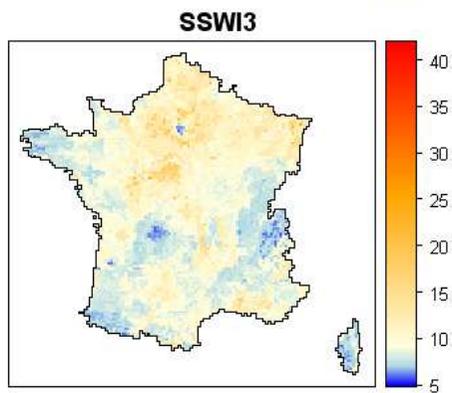
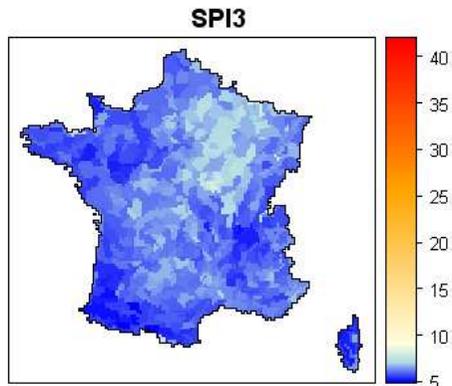
- Événements météorologiques plus nombreux que les événements agricoles et hydrologiques
⇒ **inertie du sol et de la végétation, transfert des écoulements**
- Variabilité spatiale du nombre d'événements agricoles
⇒ **influence sol/végétation**
- Peu d'événements hydrologiques sur le bassin de la Seine
⇒ **influence des nappes**

1. Nombre d'événements

Lissage avec augmentation
du pas de temps d'intégration



2. Durée moyenne (mois)

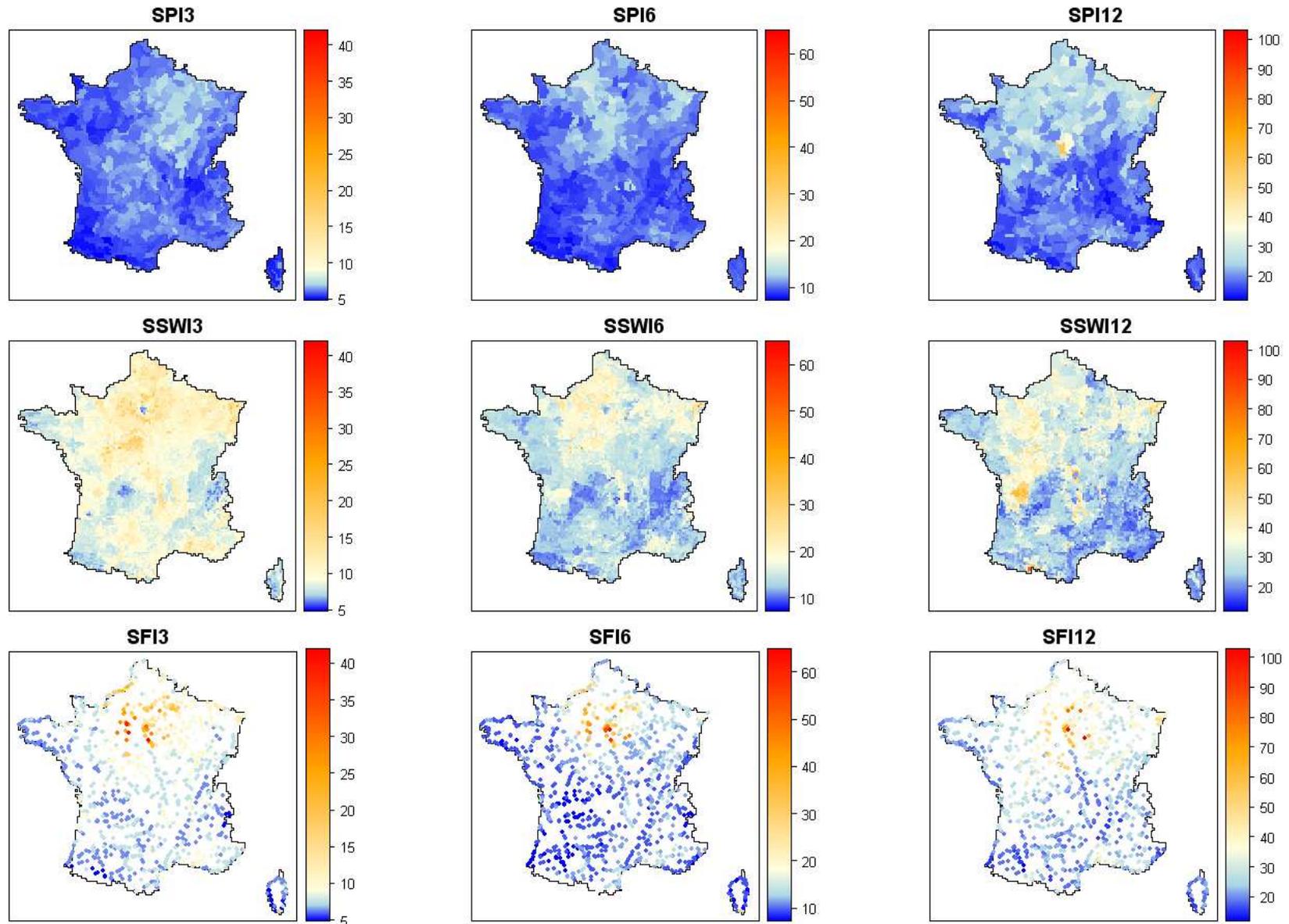


- Forte corrélation négative avec le nombre d'événements

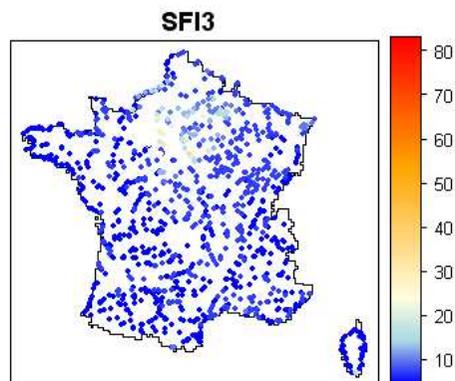
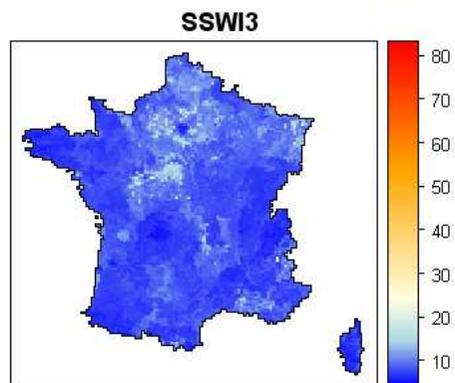
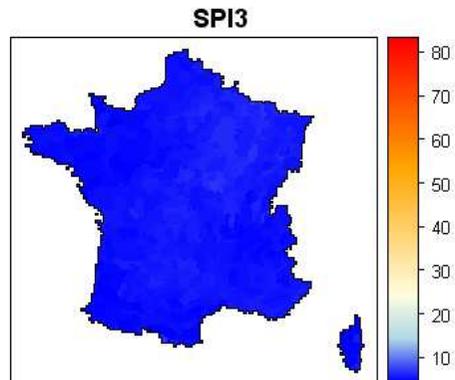
i.e. peu d'événements \Rightarrow événements longs

\Rightarrow **même commentaires que pour durée**

2. Durée moyenne (mois)

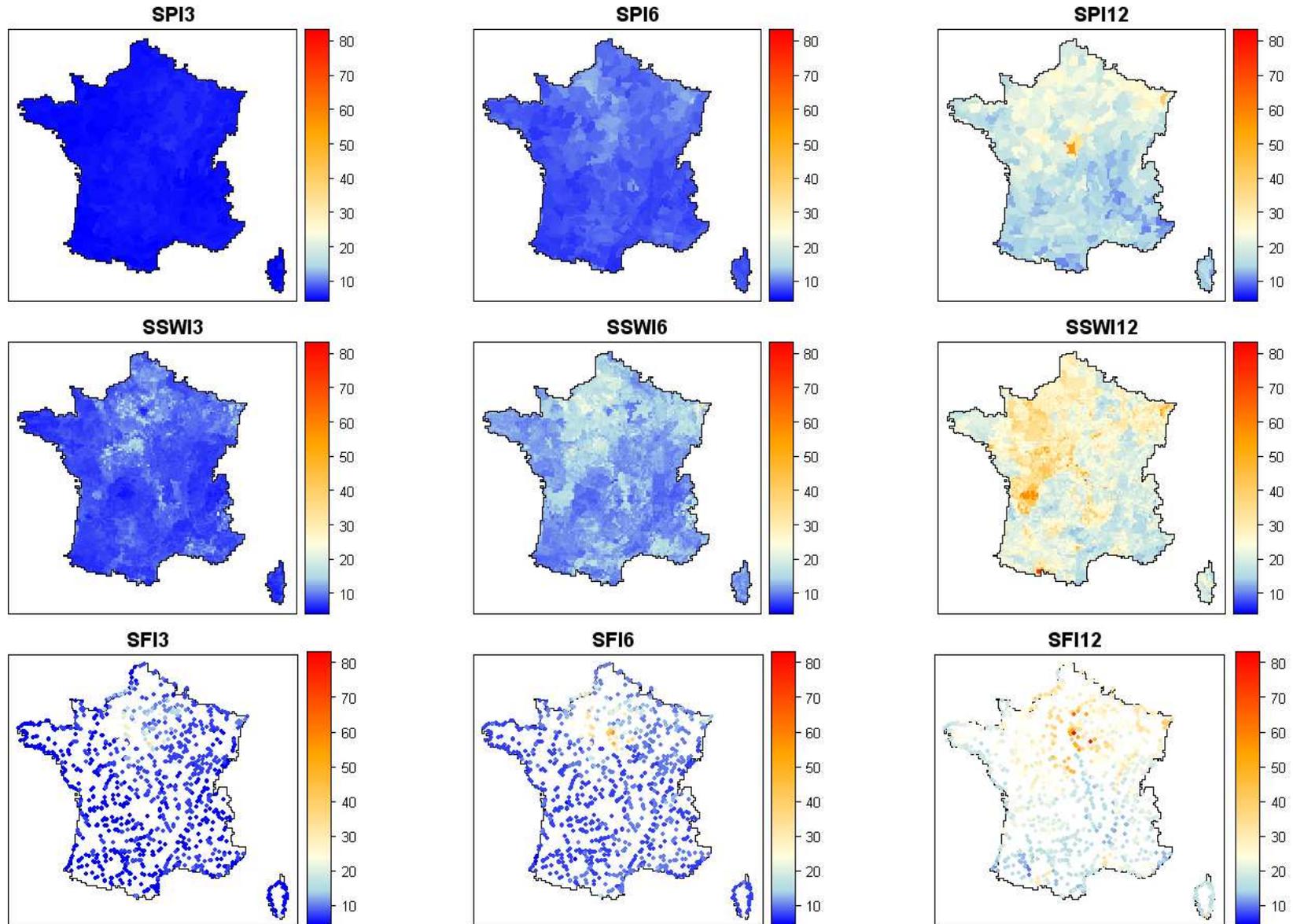


3. Magnitude moyenne (mois)

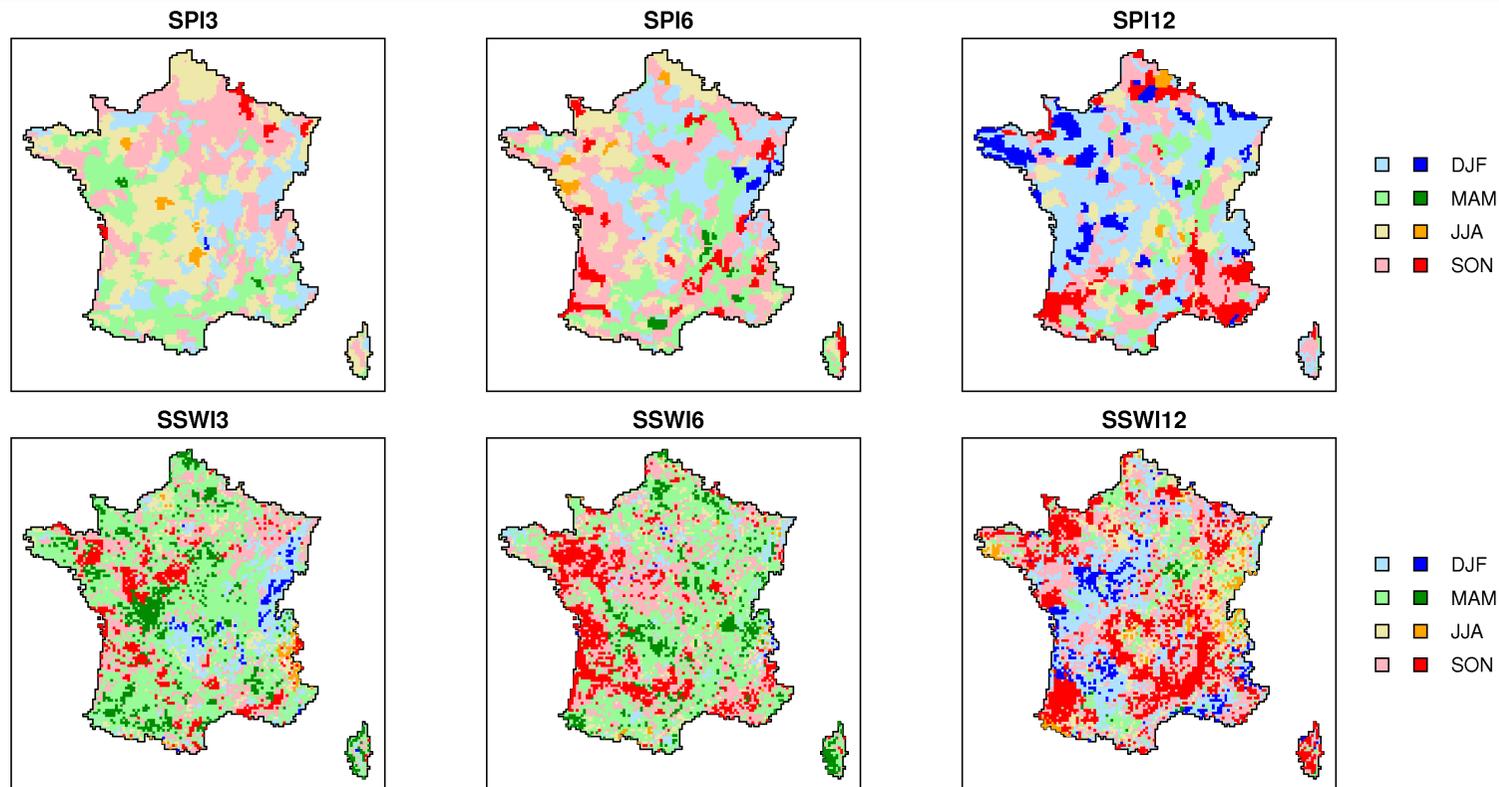


- Magnitude des événements sévères très corrélée avec durée

3. Magnitude moyenne (mois)



4. Saison de départ la plus fréquente

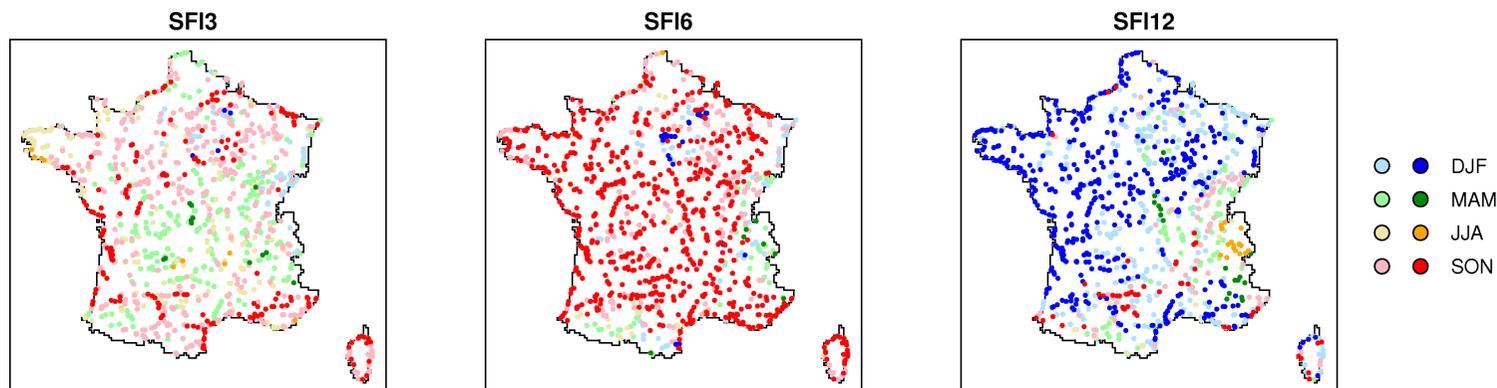


- Couleur = saison la plus fréquente
- Intensité = significativité de cette fréquence
- Peu de résultats significatifs pour les sécheresses météorologiques et agricoles

4. Saison de départ la plus fréquente

- Déficits de débit sur 6 mois débutent préférentiellement en automne
⇒ **conditionnement a priori par débit de base sur large période estivale**
- Variabilité spatiale plus marquée pour les déficits de débits sur 12 mois

⇒ **Nécessité d'études complémentaires** (pas de pondération par la sévérité des événements, etc.)

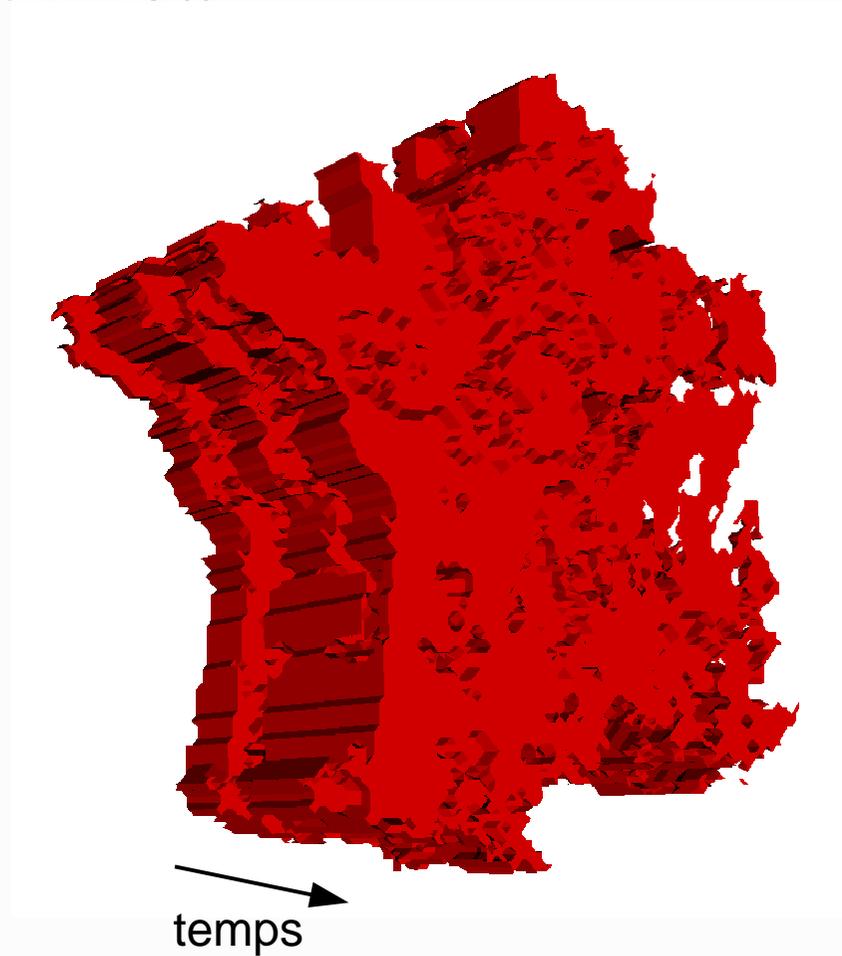


Événements à l'échelle nationale

- **Une sécheresse s'étend à la fois dans l'espace et dans le temps**
- **Identification spatio-temporelle d'un événement**
 1. **Définition de l'enveloppe de l'événement**
 - seuil (ex : $P=20\%$)
 2. **Respect d'une contiguïté spatiale**
 - identification de clusters géographiques à chaque pas de temps
⇒ **seulement sécheresses météorologique et agricoles**
 3. **Respect d'une continuité temporelle**
 - surface commune minimale entre deux mois consécutifs

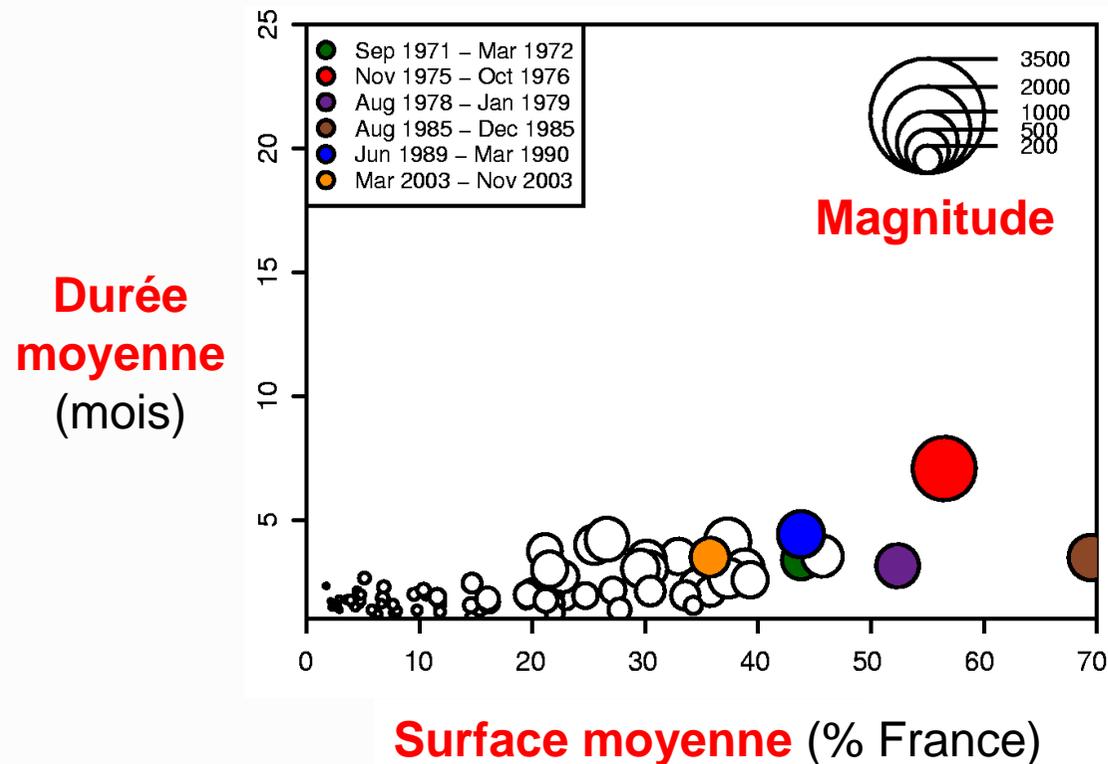
Événements à l'échelle nationale

- **Événement de sécheresse agricole de 1988-1990**
 - SSWI3, seuil P= 20 %



Relations Durée-Surface-Magnitude

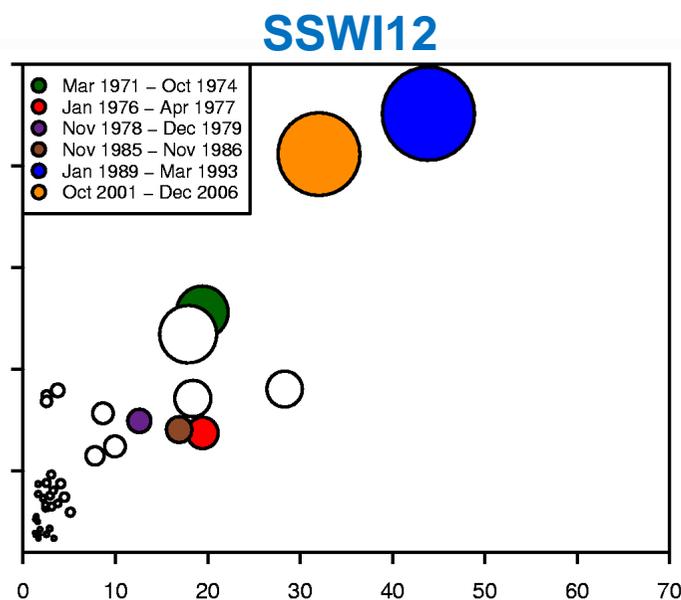
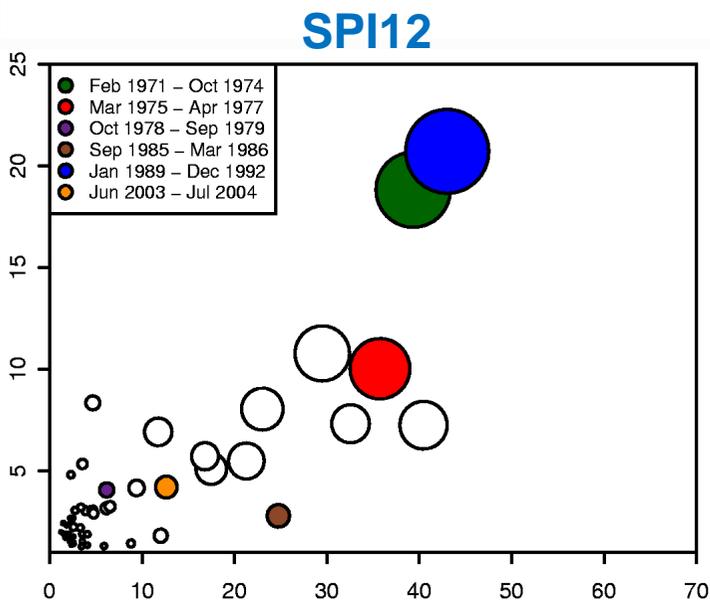
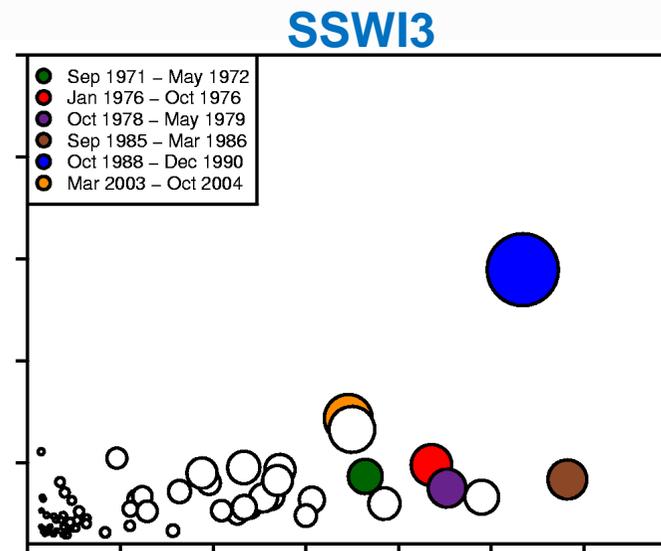
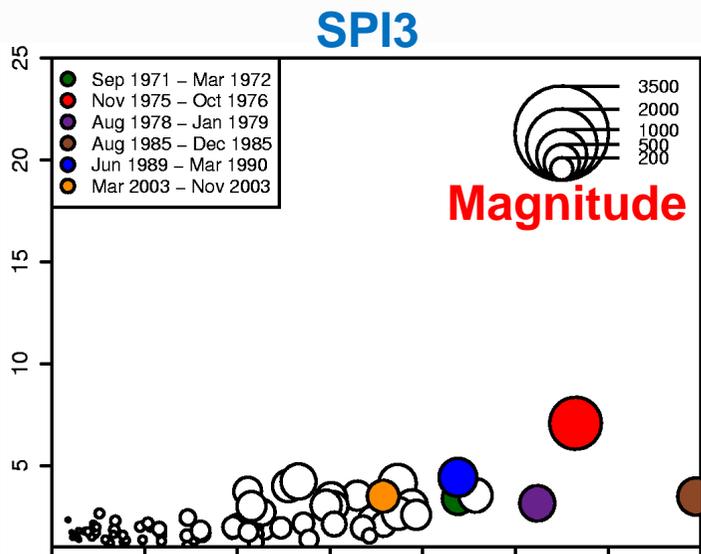
- **Caractéristiques spatio-temporelles**
 - Durée
 - Sévérité
 - magnitudecombinées avec **surface**
- **Exemple : événements météorologiques courts (SPI3, seuil P=20%)**



Relations Durée-Surface-Magnitude

P=20%

Durée
moyenne
(mois)



Surface moyenne (% France)

Événements nationaux de référence

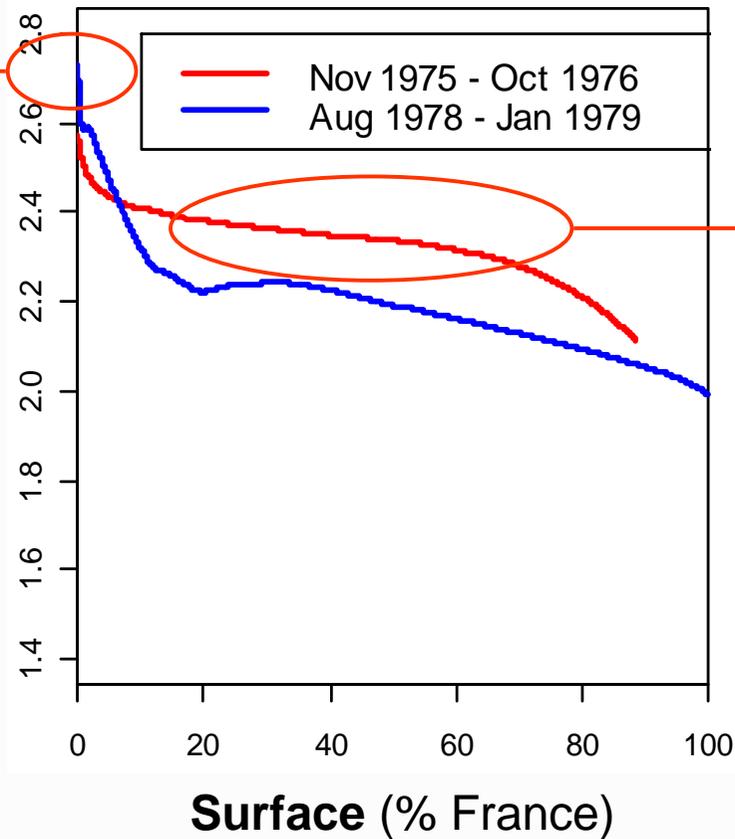
- **Quels sont les événements de référence à l'échelle nationale sur la période 1958-2008 ?**
- Méthode dérivée de l'analyse pluviométrique **cumul-surface-durée** des orages (OMM)
 - Identifier la valeur moyenne de l'indice sur une aire donnée
 - Prendre la valeur maximum atteinte durant chaque événement
 - Effectuer l'analyse pour des aires variant de 0 à 100% du territoire
- **Produit**
 - **Courbes Sévérité-Aire** pour chaque événement et chaque échelle de temps
- **Interprétation**
 - pour une surface affectée donnée (ex. 50% de la France)
→ sévérité moyenne atteinte

Événements nationaux de référence

- **Exemple : événements météorologiques courts (SPI3, seuil P=20 %)**

Régions restreintes
très affectées
en 1978

Sévérité
moyenne
sur la
surface



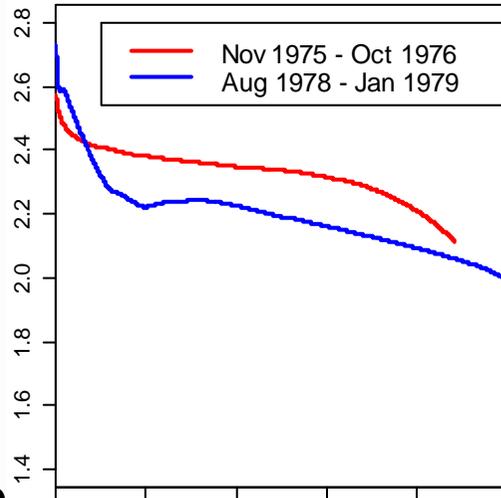
Larges régions
plus affectées
en 1976

Événements nationaux de référence

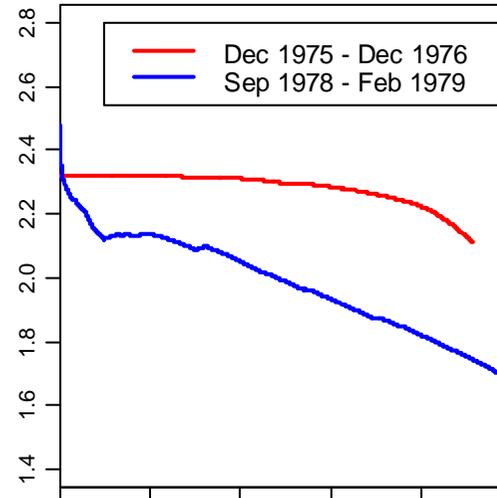
P=20%

Sévérité
moyenne
sur la
surface

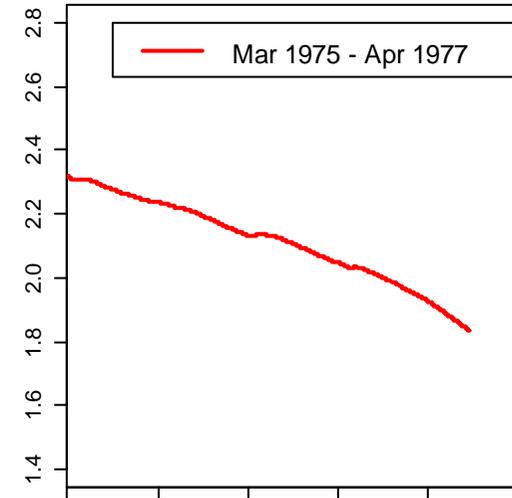
SPI3



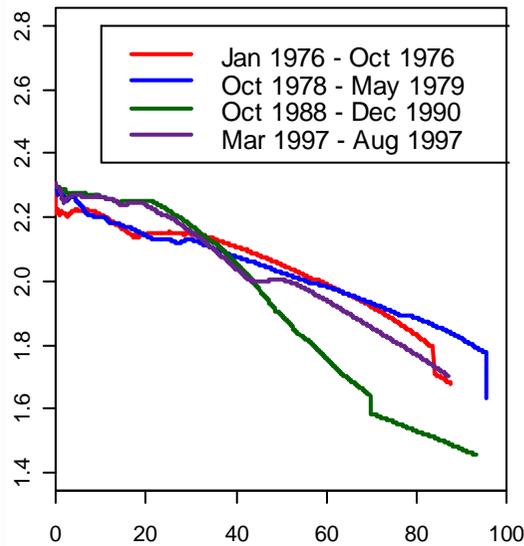
SPI6



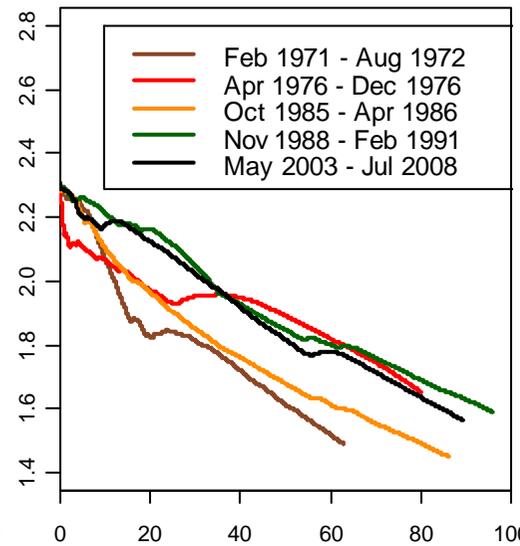
SPI12



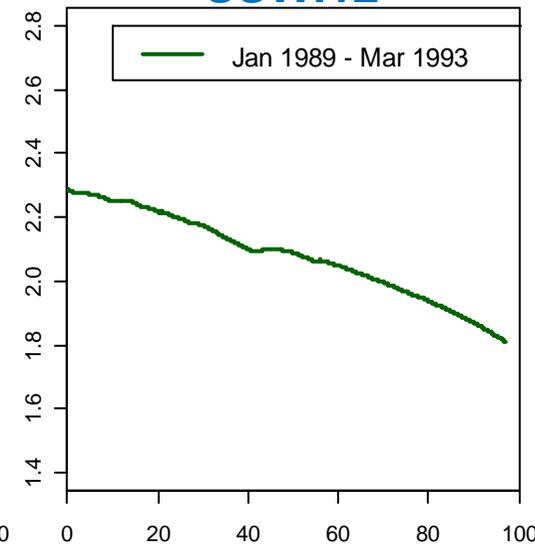
SSWI3



SSWI6



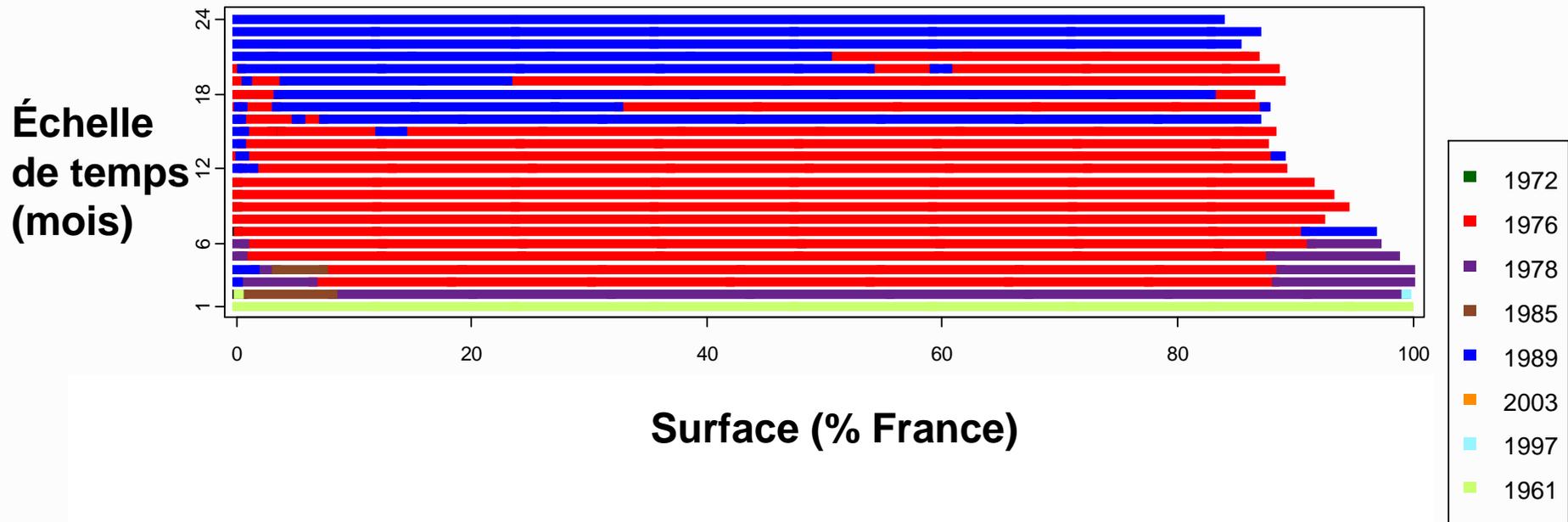
SSWI12



Surface (% France)

Synthèse des événements de référence

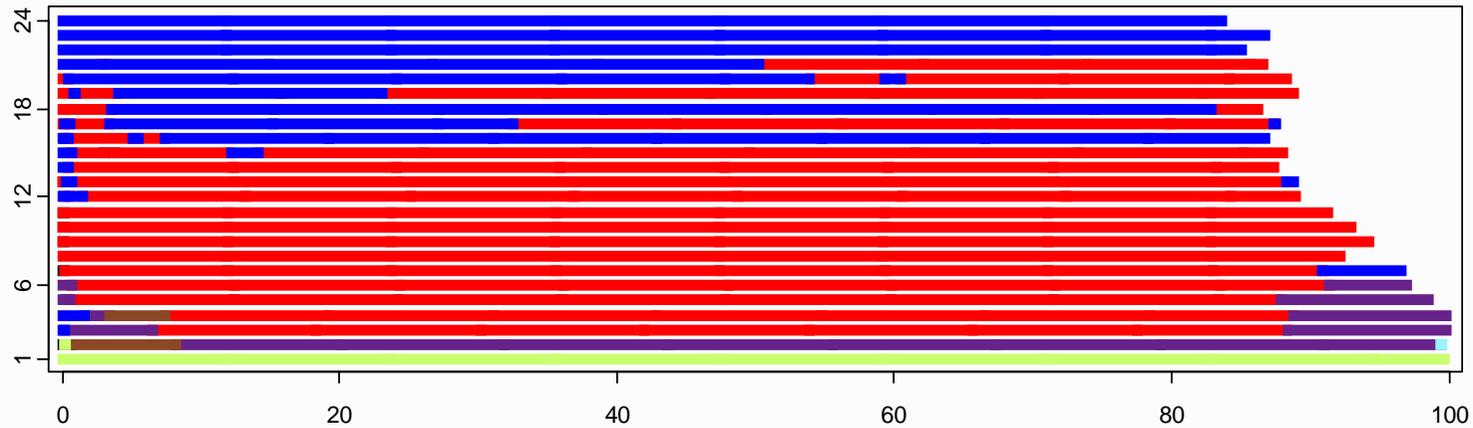
SPI



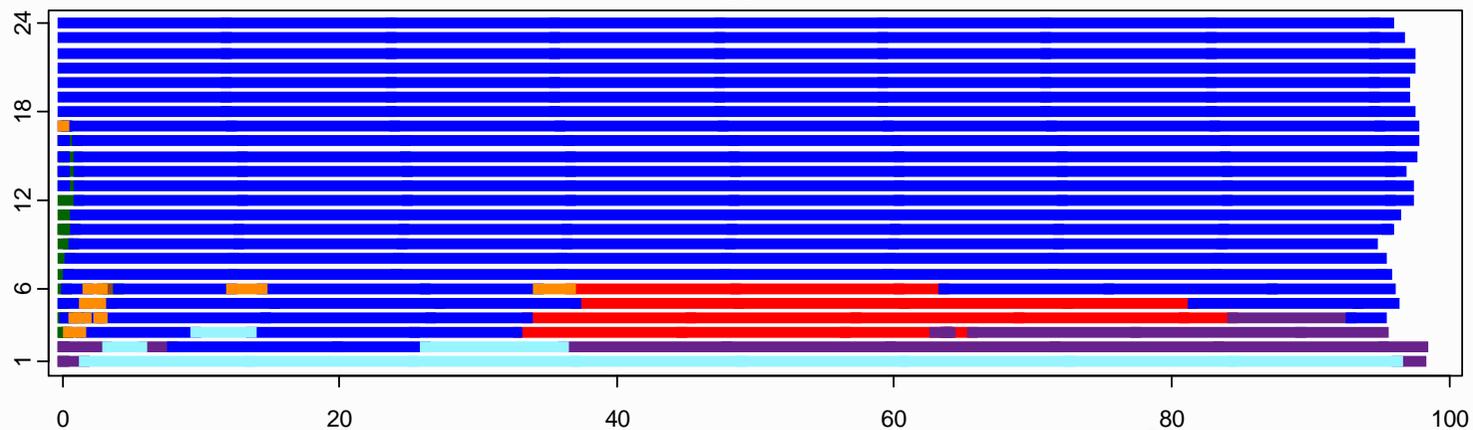
- Identification des événements composant la courbe enveloppe à chaque échelle de temps

Synthèse des événements de référence

SPI



SSWI



Surface (% France)

4. Conclusions

Conclusions

- **Chaîne hydrométéorologique Safran-Isba-Modcou**
 - **Approche cohérente** pour le suivi de la propagation des sécheresses à travers le cycle hydrologique
- **Indices de sécheresse standardisés**
 - **Outils d'analyse puissants** pour caractériser les événements dans l'espace et dans le temps
- **Réanalyse des sécheresses**
 - **Identification et description** des événements passés aux échelles locales et nationales sur la France

Bibliographie

▪ Safran

- Quintana Seguí P., Le Moigne P., Durand Y., Martin E., Habets F., Baillon M., Canellas C., Franchistéguy L. & Morel, S. (2008) **Analysis of near-surface atmospheric variables: Validation of the Safran analysis over France.** *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 47(1): 92-107. doi: 10.1175/2007JAMC1636.1
- Vidal J.-P., Martin E., Franchistéguy L., Habets F., Soubeyrou J.-M., Blanchard M. & Baillon M. (2010) **A 50-year high-resolution atmospheric reanalysis over France with the Safran system.** *International Journal of Climatology*, 30(11), 1627-1644. doi: 10.1002/joc.2003

▪ Safran-Isba-Modcou

- Habets *et al.* (2008) **The Safran-Isba-Modcou hydrometeorological model applied over France.** *Journal of Geophysical Research*, D06113. doi: 10.1029/2007JDOO8548
- Soubeyrou J.-M., Martin E., Franchistéguy L., Habets F., Noilhan J., Baillon M., Regimbeau F., Vidal J.-P., Le Moigne P. & Morel S. (2008) **Safran-Isba-Modcou (SIM) -- Un outil pour le suivi hydrométéorologique opérationnel et les études.** *La Météorologie*, 63, 40-45. doi: 10.4267/2042/21890

▪ Réanalyse des sécheresses

- Soubeyrou J.-M., Vidal J.-P., Baillon M., Blanchard M., Céron J.-P., Franchistéguy L., Régimbeau, F., Martin E. & Vincendon J.-C. (2010) **Caractérisation et prévision des sécheresses et étiages en France à partir de la chaîne hydrométéorologique Safran-Isba-Modcou.** *La Houille Blanche*, 5, 30-39
- Vidal J.-P., Martin E., Franchistéguy L., Habets F., Soubeyrou J.-M., Blanchard M. & Baillon M. (2010) **Multilevel and multiscale drought reanalysis over France with the Safran-Isba-Modcou hydrometeorological suite.** *Hydrology and Earth System Sciences*, 14 (3), 459-478. doi: 10.5194/hess-14-459-2010

Prix International Norbert Gerbier – Mumm 2011 délivré par
l'Organisation Météorologique Mondiale



Merci de votre attention

contact : jean-philippe.vidal@cemagref.fr