Sécheresses agricoles, sécheresses hydrologiques et feux de forêt: identification de co-variabilités et perspectives pour la gestion des risques multiples

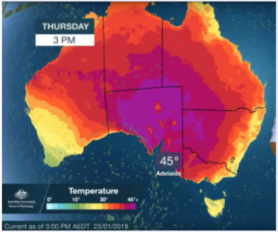
B. Renard [1] R. Barbero [2] J.-P. Vidal [3] ???

[1]UR RECOVER - Equipe RHAX - Aix-en-Provence
[2]UR RECOVER - Equipe EMR - Aix-en-Provence
[3]UR RiverLy - Equipe HYBV - Lyon-Villeurbanne

INRAE

Contexte

Eté 2019-2020 en Australie



The Sydney Morning Herald

INDEPENDENT. ALWAYS.

20 HOMES AND BUILDINGS DESTROYED IN SOUTH-WEST

THREE FIREFIGHTERS IN HOSPITAL WITH BURNS

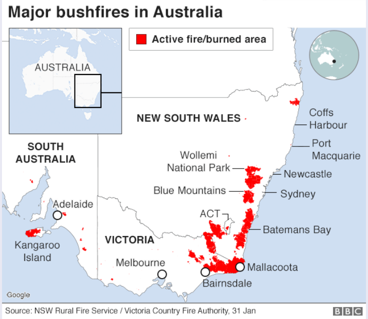
HUGE HEATWAVE TO HIT THE STATE TOMORROW

Fires close in on city

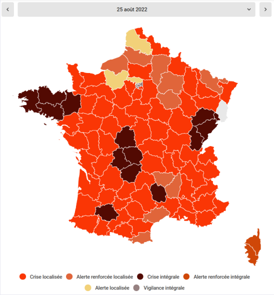
'Hazardous' air 28 days in the past two months

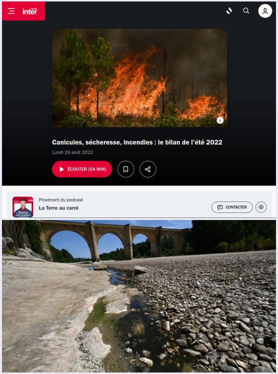
Australia records world's highest ever December temperature

The Premier has declared a state of emergency lasting seven days and warned people not travel near fire areas. FULL COVERAGE PAGES 2-5



Eté 2022 en France





Le Monde

DIMANCHE 17 - LUNDI 18 JUILLET 2022
3,20 € – FRANCE MÉTROPOLITAINE
WWW.LEMONDE.FR –
FONDATEUR : HUBERT BEUVE-MÉRY
DIRECTEUR : JÉRÔME FENOGLIO

L'été
DES SÉRIES PAGES 26 À 31

L'ÉPOQUE – DANS LES VOSGES, GUERRE DES PAINS AU ROND-POINT

Canicules, incendies : état d'urgence climatique

▸ L'Europe fait face à une nouvelle semaine de records de chaleur sur fond de feux de forêt

▸ Confrontés à leur deuxième canicule estivale, les Français prennent conscience que l'exception climatique devient la règle

▸ La climatologue Valérie Masson-Delmotte, du GIEC, met en garde contre la lenteur de nos changements face à un climat qui mute au galop

▸ Interrogés par l'OCDE, quatre Français sur cinq se disent convaincus de l'importance d'agir vite

PAGES 6 À 8

ÉDITORIAL
GARANTIR UN AVENIR VIVABLE
PAGE 32

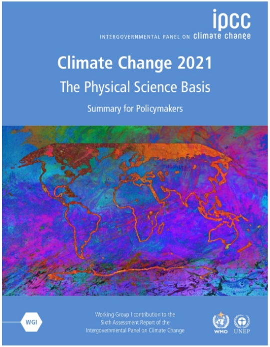
Incendies aux portes de Tarascon (Bouches-du-Rhône), le 14 juillet.

PARIS
Comment Paris se prépare à vivre des vagues de chaleur à 50 °C
PAGE 8

MARSEILLE
Dans les Bouches-du-Rhône, les pompiers anticipent une « saison en enfer »
PAGE 10

TOULOUSE
Entre canicule, Covid-19 et fêtes estivales, pas de répit nocturne au centre du SAMU
PAGE 11

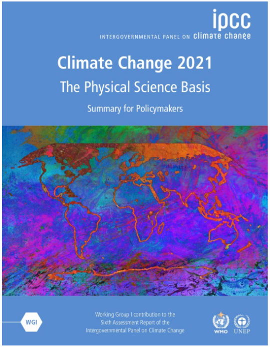
Contexte



Detected changes:

"*Human influence has likely increased the chance of compound extreme events since the 1950s. This includes increases in the frequency of concurrent heatwaves and droughts on the global scale (high confidence), fire weather in some regions of all inhabited continents (medium confidence)*"

Contexte



Detected changes:

"*Human influence has likely increased the chance of compound extreme events since the 1950s. This includes increases in the frequency of concurrent* <u>*heatwaves*</u> *and* <u>*droughts*</u> *on the global scale (high confidence),* <u>*fire weather*</u> *in some regions of all inhabited continents (medium confidence)*"

Future changes:

"*With 2°C global warming [...], in a number of regions ([...], the Mediterranean, [...]), increases in one or more of* <u>*drought*</u>*,* <u>*aridity*</u> *and* <u>*fire weather*</u> *(high confidence) will affect a wide range of sectors, including agriculture, forestry, health and ecosystem*"

Objectifs

Comprendre, **quantifier** et **prendre en compte** la co-variabilité entre trois aléas: sécheresses agricoles (du sol), sécheresses hydrologiques (dans les cours d'eau) et feux de forêt.

Objectifs

Comprendre, **quantifier** et **prendre en compte** la co-variabilité entre trois aléas: sécheresses agricoles (du sol), sécheresses hydrologiques (dans les cours d'eau) et feux de forêt.

1. **Comprendre**: Forçages communs ? Relations causales entre les variables ? Influences anthropiques perturbant le fonctionnement naturel du système ?

Objectifs

Comprendre, **quantifier** et **prendre en compte** la co-variabilité entre trois aléas: sécheresses agricoles (du sol), sécheresses hydrologiques (dans les cours d'eau) et feux de forêt.

1. **Comprendre**: Forçages communs ? Relations causales entre les variables ? Influences anthropiques perturbant le fonctionnement naturel du système ?
2. **Quantifier**: Comment probabiliser un tel système ? Par ex., $\mathbb{P}[hydro|agro]$? $\mathbb{P}[agro, hydro, feux|P_{deficit} > 50\%]$?

Objectifs

Comprendre, **quantifier** et **prendre en compte** la co-variabilité entre trois aléas: sécheresses agricoles (du sol), sécheresses hydrologiques (dans les cours d'eau) et feux de forêt.

1. **Comprendre**: Forçages communs ? Relations causales entre les variables ? Influences anthropiques perturbant le fonctionnement naturel du système ?
2. **Quantifier**: Comment probabiliser un tel système ? Par ex., $\mathbb{P}[hydro|agro]$? $\mathbb{P}[agro, hydro, feux|P_{deficit} > 50\%]$?
3. **Prendre en compte**: Quelles applications pour quelles parties prenantes ? par ex. gestion préventive des risques, adaptation, prévision saisonnière ?

1. Comprendre

Sécheresse agro

Sécheresse hydro

Feux de forêt

Variables cibles

Forçages

échelles spatiales et temporelles?

Vent

Humidité de l'air

Température

Deficit pluviométrique

Evapotranspiration

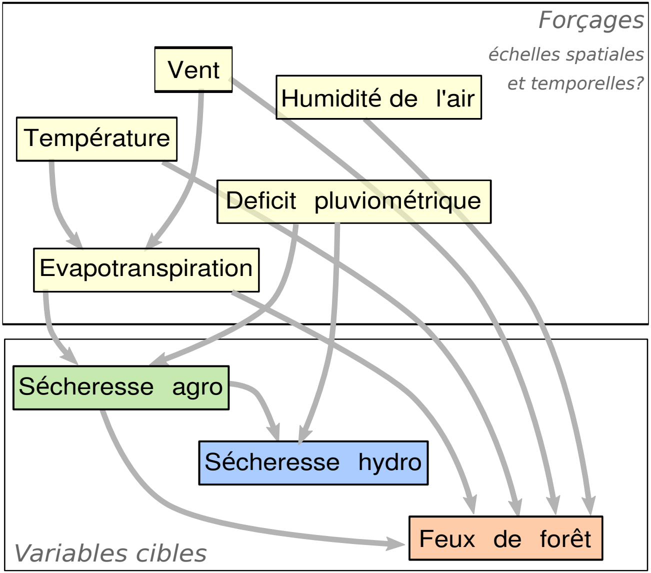
Sécheresse agro

Sécheresse hydro

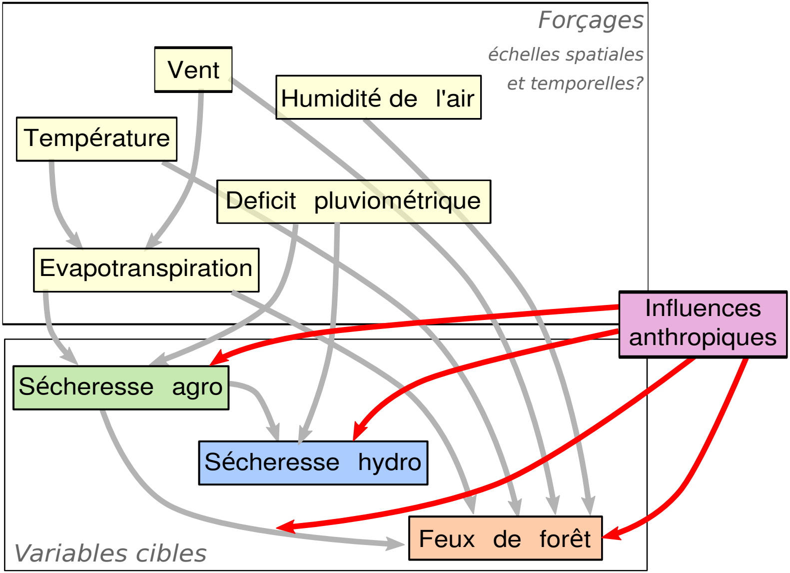
Feux de forêt

Variables cibles

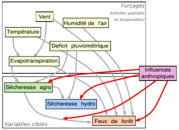
1. Comprendre



1. Comprendre



2. Quantifier

- Transformer 

en modèle probabiliste
- Stage M2, profil modélisation statistique
- Modèle nécessairement spatialisé
- Integrer éventuellement des forçages cachés (variables latentes)
- Echelle d'étude $\subseteq$ France
- Outils: à determiner, mais surement un parmi:

STAN

INLA

SToODs

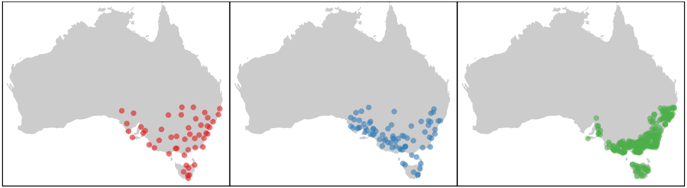
2. Quantifier

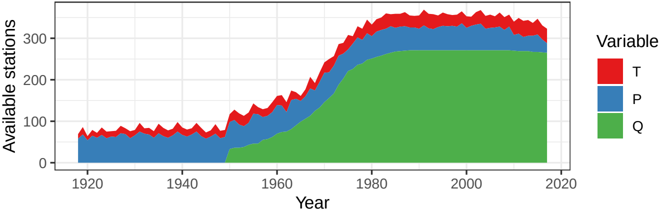
Défi 1: reseaux de mesures distincts, profondeur temporelle et résolution spatiale tres variables, valeurs manquantes ou censurées, etc.

2. Quantifier

Défi 1: reseaux de mesures distincts, profondeur temporelle et résolution spatiale tres variables, valeurs manquantes ou censurées, etc.

Ex.: BoM's reference datasets for Temperature, Precipitation and Streamflow

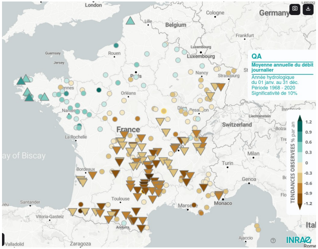




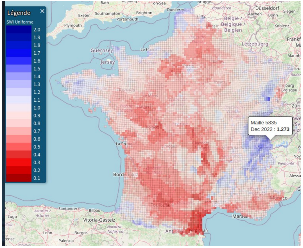
Défi 1: reseaux de mesures distincts, profondeur temporelle et résolution spatiale tres variables, valeurs manquantes ou censurées, etc.

Ex.: Données candidates pour ce projet

Stations hydrométriques de référence
(HydroPortail)



Soil Wetness Index
(Meteo France)



Feux > 100ha
(Base de Données sur les Incendies de Forêts en France)

2. Quantifier

Défi 1: reseaux de mesures distincts, profondeur temporelle et résolution spatiale tres variables, valeurs manquantes ou censurées, etc.

Défi 2: diversité des variables, de leurs propriétés probabilistes (occurrences, durées, surfaces, intensités, etc.)

2. Quantifier

Défi 1: reseaux de mesures distincts, profondeur temporelle et résolution spatiale tres variables, valeurs manquantes ou censurées, etc.

Défi 2: diversité des variables, de leurs propriétés probabilistes (occurrences, durées, surfaces, intensités, etc.)

Défi 3: Comment prendre en compte les influences anthropiques ?

2. Quantifier

Défi 1: reseaux de mesures distincts, profondeur temporelle et résolution spatiale tres variables, valeurs manquantes ou censurées, etc.

Défi 2: diversité des variables, de leurs propriétés probabilistes (occurrences, durées, surfaces, intensités, etc.)

Défi 3: Comment prendre en compte les influences anthropiques ?

Beaucoup de défis... mais nombreux travaux antérieurs !

ECOLOGICAL APPLICATIONS
ECOLOGICAL SOCIETY OF AMERICA

Article

Prediction of regional wildfire activity in the probabilistic Bayesian framework of Firelihood

François Pimont, Héléne Fargeon, Thomas Opitz, Julien Ruffault, Renaud Barbero, Nicolas Martin-StPaul, Eric Rigolot, Miguel RiviÉre, Jean-Luc Dupuy

First published: 26 February 2021 | https://doi.org/10.1002/eap.2316 | Citations: 15

Hydrology and Earth System Sciences

Ensemble reconstruction of spatio-temporal extreme low-flow events in France since 1871

Laurie Caillouet[1], Jean-Philippe Vidal[1], Eric Sauquet[1], Alexandre Devers[1], and Benjamin Graff[2]

Water Resources Research

A Hidden Climate Indices Modeling Framework for Multivariable Space-Time Data

B. Renard[1,2], M. Thyer[2], D. McInerney[2], D. Kavetski[2], M. Leonard[2], and S. Westra[2]

[1]INRAE, RiverLy, Lyon, France, [2]School of Civil, Environmental and Mining Engineering, University of Adelaide, Adelaide SA, Australia

Natural Hazards and Earth System Sciences

Simulating the effects of weather and climate on large wildfires in France

Renaud Barbero, Thomas Curt, Anne Ganteaume, Eric Maillé, Marielle Jappiot, and Adeline Bellet

Irstea, Mediterranean ecosystems and risks, Aix-en-Provence, France

3. Prendre en compte

Plutôt une perspective, en fonction des résultats de l'étape précédente.

- Applications opérationnelles ? (gestion préventive, adaptation, prévision saisonnière, etc.)
- Opportunités résultant de la co-variabilités entre les variables ? (reconstructions anciennes, mieux séparer les signaux climatiques et anthropiques, etc.)
- Vers l'échelle globale ? Quelles applications pour quelles parties prenantes ?

Details du parcours - Participants

Nom	Affectation	Spécialité
Benjamin Renard	RHAX[1], UR RECOVER[2] Dpt AQUA Centre PACA (Aix-En-Pce)	Hydrologie Modélisation statistique
Renaud Barbero	EMR[3], UR RECOVER Dpt ECODIV Centre PACA (Aix-En-Pce)	Climatologie Sécheresse et impact du changement climatique sur les feux de forêt
Jean-Philippe Vidal	HyBV[4], UR RiverLy Dpt AQUA Centre ARA[5] (Lyon)	Hydroclimatologie Impact du changement climatique sur la ressource en eau Analyse spatio-temporelle des sécheresses, étiages et assecs

[1] Risques Hydrologiques
[2] Risques, Ecosystèmes, Vulnérabilité, Environnement, Résilience
[3] Écosystèmes Méditerranéens et Risques
[4] Hydrologie des Bassins Versants
[5] Lyon-Grenoble Auvergne-Rhône-Alpes

Details du parcours - Propriétés

- **Axe 1**: Etablir les connexions entre des risques de nature variée
- **Durée**: 18 mois
- **Type**: Parcours interdisciplinaire sans projet exploratoire
- **Etapes**:
  1. Atelier / retraite de réflexion ("comprendre"... et se comprendre)
     - point sur l'état de l'art, les données disponibles
     - etablir un diagramme de relations causales
  2. Stage de M2 ("quantifier")
     - modèle statistique implementant le diagramme ci-dessus
  3. Atelier / retraite d'écriture ("Prendre en compte"):
     - Imaginer les applications possibles
     - Suites à donner? (projet exploratoire XRisques, projet national, ouverture vers des collaborations internationales, etc.)

Merci!

Giuntoli, Renard, Vidal and Bard (**2013**).
Low flows in France and their relationship to large-scale climate indices.
Journal of Hydrology, https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2012.12.038

Caillouet, Vidal, Sauquet, Devers and Graff (**2017**).
Ensemble reconstruction of spatio-temporal extreme low-flow events in France since 1871.
Hydrol. Earth Syst. Sci., https://doi.org/10.5194/hess-21-2923-2017.

Barbero, Curt, Ganteaume, Maillé, Jappiot and Bellet (**2019**).
Simulating the effects of weather and climate on large wildfires in France.
Nat. Hazards Earth Syst. Sci., https://doi.org/10.5194/nhess-19-441-2019.

Pimont, Fargeon, Opitz, Ruffault, Barbero, Martin-StPaul, Rigolot, Rivière and Dupuy (**2021**).
Prediction of regional wildfire activity in the probabilistic Bayesian framework of Firelihood.
Ecological Applications, https://doi.org/10.1002/eap.2316.

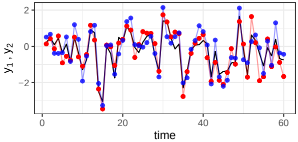
Renard, Thyer, McInerney, Kavetski, Leonard and Westra (**2021**).
A Hidden Climate Indices Modeling Framework for Multi-Variable Space-Time Data.
Water Resources Research, https://doi.org/10.1029/2021WR030007

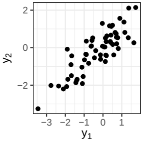
Xtra

Idea behind Hidden Climate Indices (HCI)

Variables affected by THE SAME climate index are dependant

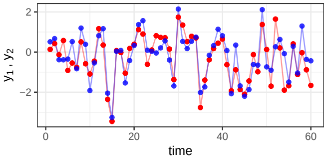
$$\begin{cases} Y_{1,t} = \lambda_1 \tau_t + \varepsilon_{1,t} \\ Y_{2,t} = \lambda_2 \tau_t + \varepsilon_{2,t} \\ \varepsilon_{1,t}, \varepsilon_{2,t} \overset{iid}{\sim} \mathcal{N}\left(0, \sigma^2\right) \end{cases}$$





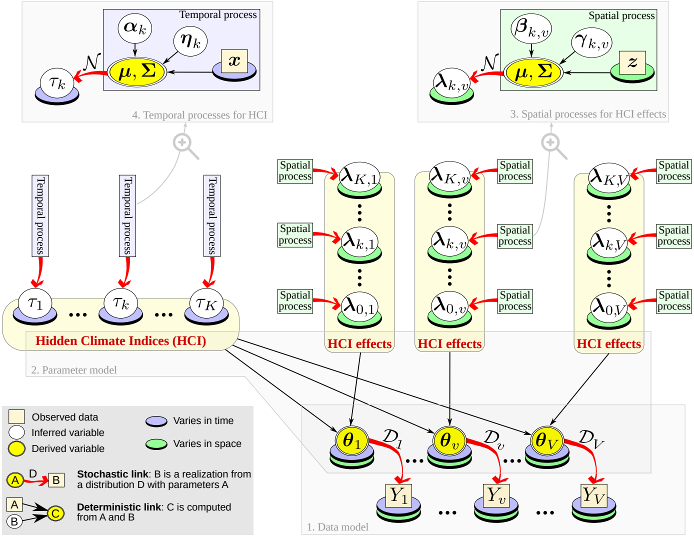
In practice, the time series τ_t is unknown (it is *hidden*).

Uncovering the hidden climate index



$$\begin{pmatrix} Y_{1,t} \\ Y_{2,t} \end{pmatrix} \overset{i}{\sim} \mathcal{N}\left(\begin{pmatrix} \lambda_1 \tau_t \\ \lambda_2 \tau_t \end{pmatrix}, \sigma^2 \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}\right)$$

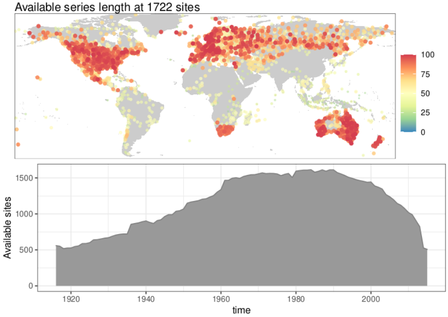
Objective: any distribution, many sites, several variables, several HCIs



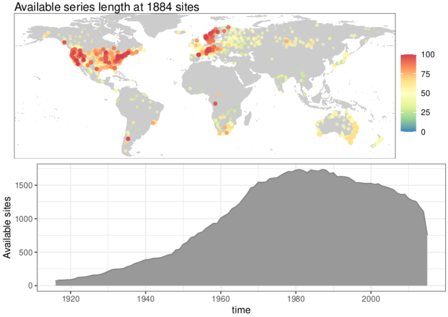
Temporal process
$\mathcal{N}$
τ_k
$\boldsymbol{\alpha}_k$
$\boldsymbol{\eta}_k$
$\boldsymbol{\mu}, \boldsymbol{\Sigma}$
$\boldsymbol{x}$
4. Temporal processes for HCI
Spatial process
$\boldsymbol{\lambda}_{k,v}$
$\boldsymbol{\beta}_{k,v}$
$\gamma_{k,v}$
$\boldsymbol{\mu}, \boldsymbol{\Sigma}$
$\boldsymbol{z}$
3. Spatial processes for HCI effects
Temporal process
Temporal process
Temporal process
τ_1
τ_k
τ_K
Hidden Climate Indices (HCI)
2. Parameter model
Spatial process
$\boldsymbol{\lambda}_{K,1}$
$\boldsymbol{\lambda}_{k,1}$
$\boldsymbol{\lambda}_{0,1}$
$\boldsymbol{\lambda}_{K,v}$
$\boldsymbol{\lambda}_{k,v}$
$\boldsymbol{\lambda}_{0,v}$
$\boldsymbol{\lambda}_{K,V}$
$\boldsymbol{\lambda}_{k,V}$
$\boldsymbol{\lambda}_{0,V}$
HCI effects
HCI effects
HCI effects
$\boldsymbol{\theta}_1$
$\mathcal{D}_1$
$\boldsymbol{\theta}_v$
$\mathcal{D}_v$
$\boldsymbol{\theta}_V$
$\mathcal{D}_V$
Y_1
Y_v
Y_V
1. Data model
Observed data
Inferred variable
Derived variable
Varies in time
Varies in space
A
D
B
Stochastic link: B is a realization from a distribution D with parameters A
A
B
C
Deterministic link: C is computed from A and B

Typical station-based datasets

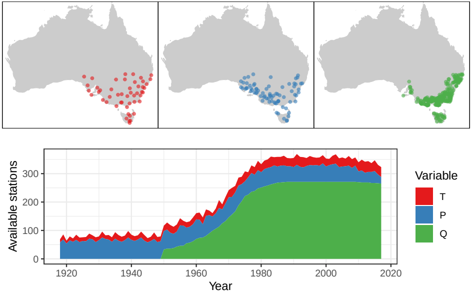
P: a selection from Hadex 2+3
Donat et al. (2013); Dunn et al. (2020)



Q: a selection from GSIM
Do et al. (2018); Gudmundsson et al. (2018)

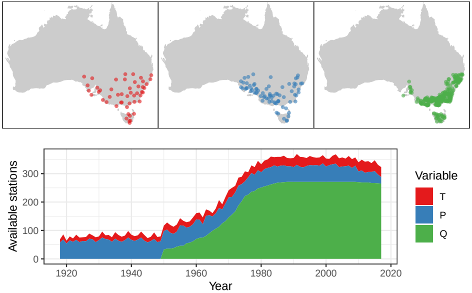


Data & Models



Number of heatwaves

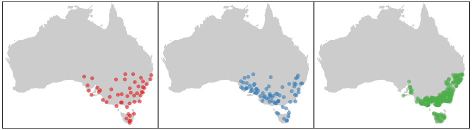
$$\begin{cases} Tn(\boldsymbol{s},t) \sim \mathcal{P}\left(\mu(\boldsymbol{s},t)\right) \\ log\left(\mu(\boldsymbol{s},t)\right) = \lambda_{Tn,0}(\boldsymbol{s}) + \sum_{k=1}^{3} \lambda_{Tn,k}(\boldsymbol{s})\tau_k(t) \end{cases}$$

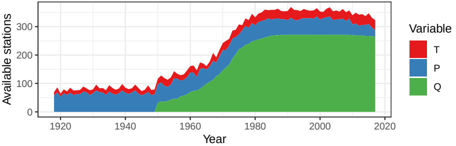


Heatwave intensities

$$\begin{cases} Tx(\boldsymbol{s},t) \sim \mathcal{GPD}\left(0, \sigma(\boldsymbol{s},t), \xi(\boldsymbol{s})\right) \\ log\left(\sigma(\boldsymbol{s},t)\right) = \lambda_{Tx,0}(\boldsymbol{s}) + \sum_{k=1}^{3} \lambda_{Tx,k}(\boldsymbol{s})\tau_k(t) \end{cases}$$

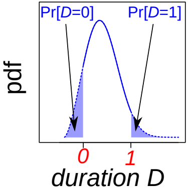
Data & Models



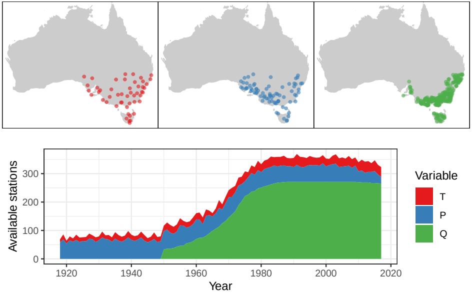


Drought duration

$$\begin{cases} Qd(\boldsymbol{s},t) \sim \mathcal{N}\left(\mu(\boldsymbol{s},t), \sigma(\boldsymbol{s})\right) \\ \mu(\boldsymbol{s},t) = \lambda_{Qd,0}(\boldsymbol{s}) + \sum_{k=1}^{3} \lambda_{Qd,k}(\boldsymbol{s})\tau_k(t) \end{cases}$$

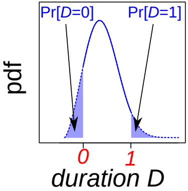


Data & Models



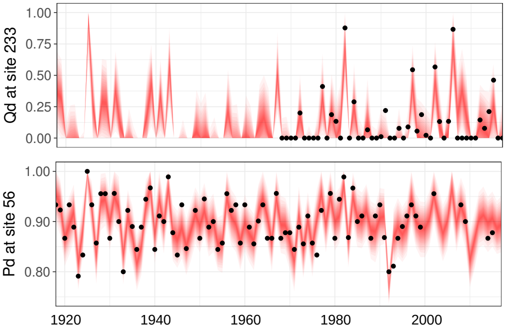
Dry-day duration

$$\begin{cases} Pd(\boldsymbol{s},t) \sim \mathcal{N}\left(\mu(\boldsymbol{s},t),\sigma(\boldsymbol{s})\right) \\ \mu(\boldsymbol{s},t) = \lambda_{Pd,0}(\boldsymbol{s}) + \sum_{k=1}^{3} \lambda_{Pd,k}(\boldsymbol{s})\tau_k(t) \end{cases}$$



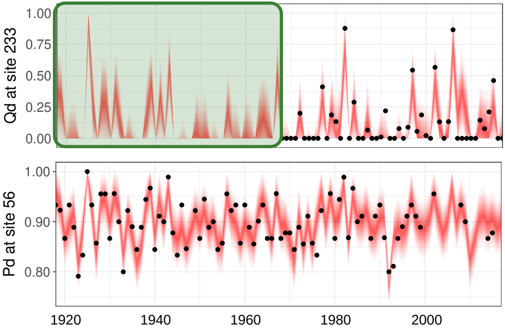
Probabilistic predictions

Time-varying distributions



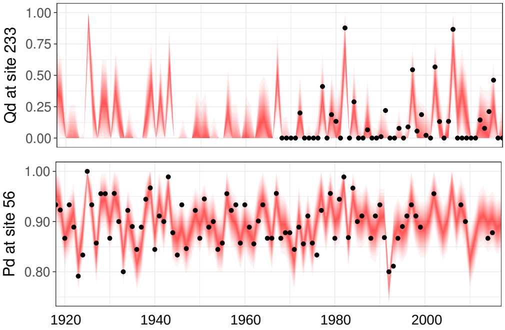
Probabilistic predictions

Time-varying distributions

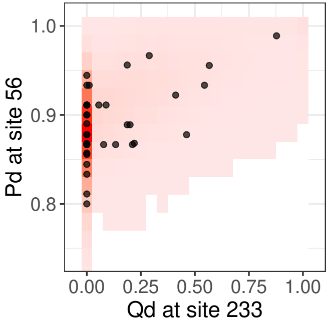


Probabilistic predictions

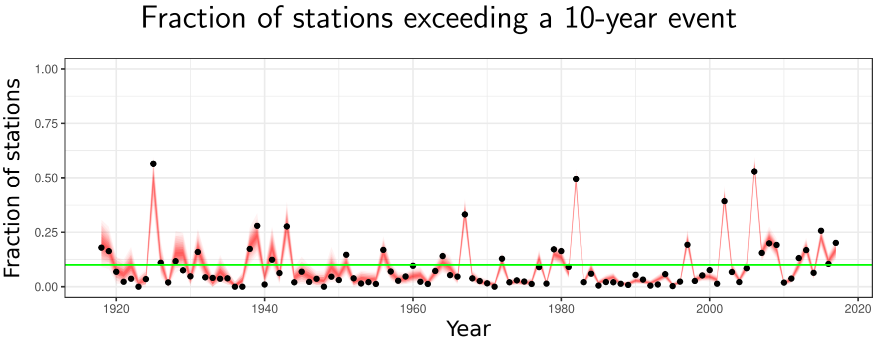
Time-varying distributions

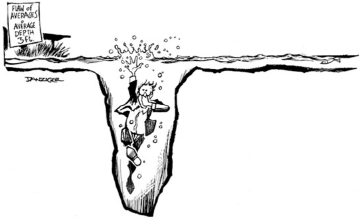


Joint bivariate distribution



Probabilistic predictions

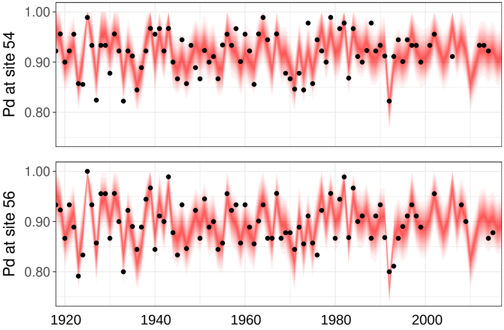




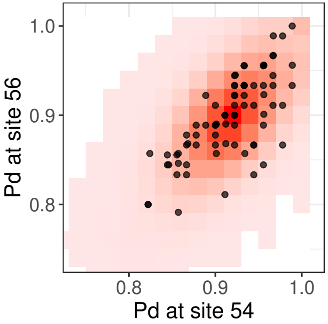
$\Longrightarrow$ Consequences in terms of risk management

Probabilistic predictions

Time-varying distributions

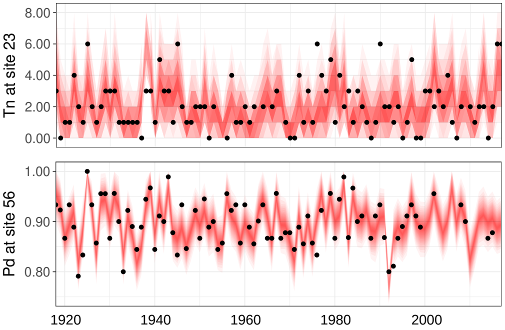


Joint bivariate distribution

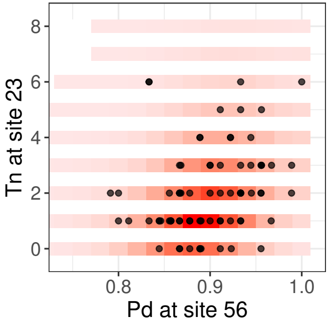


Probabilistic predictions

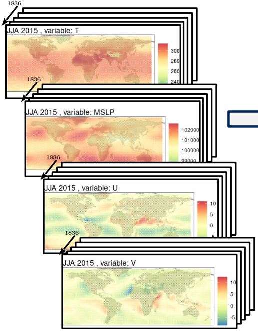
Time-varying distributions



joint bivariate distribution

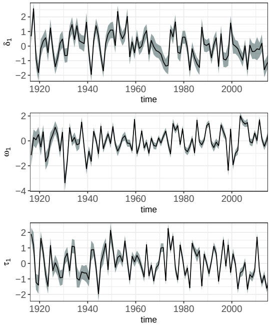


Climate predictors



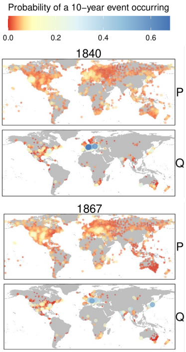
?

Hidden Climate Indices



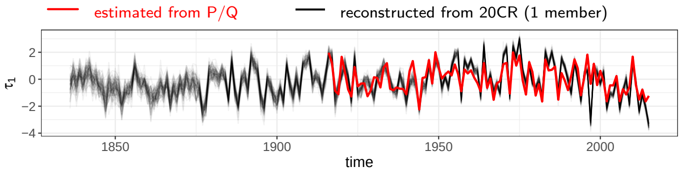
HCI model

Pr[hydro-xtreme]

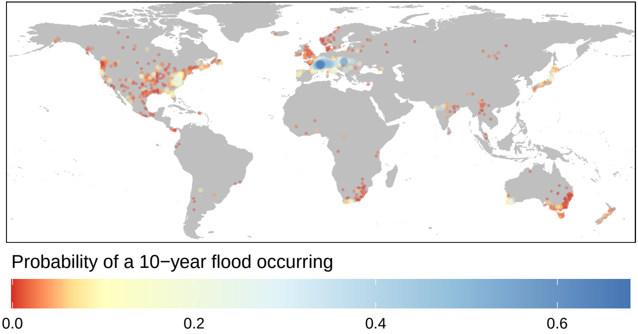


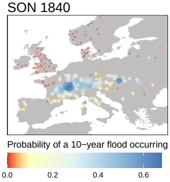
→ Using 20CRv3, reconstruction of HCIs from 1836

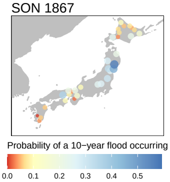
→ Hydro-extreme probability maps from 1836

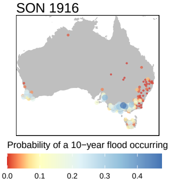


SON 1840









$\rightarrow$ **Originality**: applies to (small) catchments, with a global extent.