

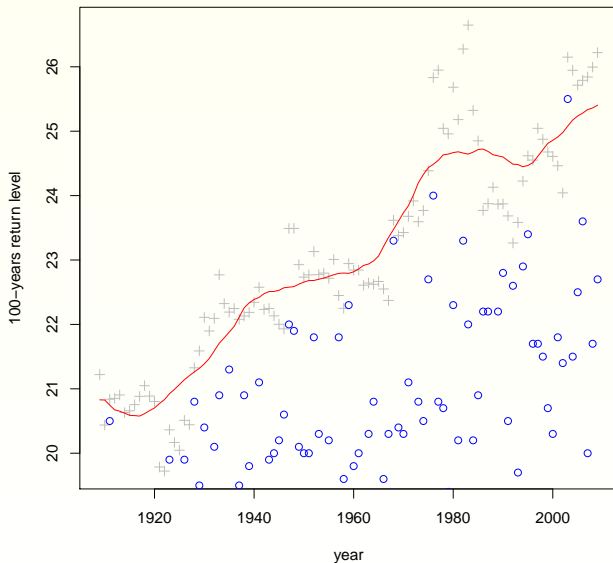
MIRACCLE  
Mesures et Indicateurs de Risque  
Adaptés au Changement CLimatiquE

**Pierre Ribereau**  
**Université Claude Bernard Lyon 1**

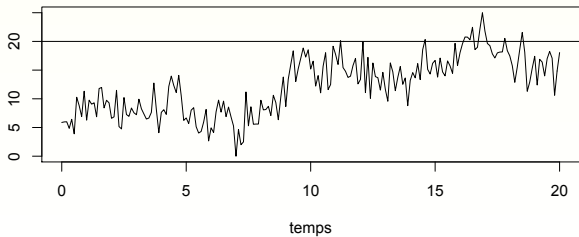
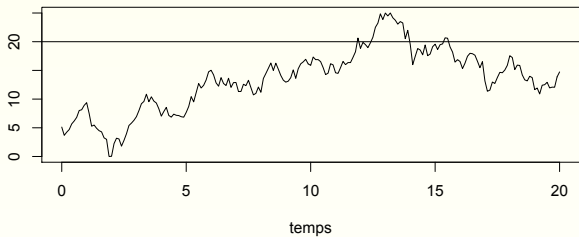
**Séminaire Programme GICC**  
**Gestion et Impacts du Changement Climatique**

21 Mai 2014

# Limite des mesures de risque usuelles : exemple du niveau de retour 100 ans



## Autre exemple : dépendance



## Résumé

- Besoin de définir de nouvelles mesures de risque qui prennent en compte la nature multi-factorielle et/ou spatio-temporelle des risques et des données climatiques. ⇒ Non stationnarité.
  - Assurabilité des risques climatiques et conséquence pour les compagnies d'assurance
- ⇒ Théorie des valeurs extrêmes.

## WP1 : Modèles d'extrêmes spatio-temporels

Les mesures de risques étant directement liées à la Théorie des Valeurs Extrêmes,  
⇒ développer nouveaux modèles adaptés (non stationnarité, spatial...)

## WP1 : Théorie des valeurs extrêmes

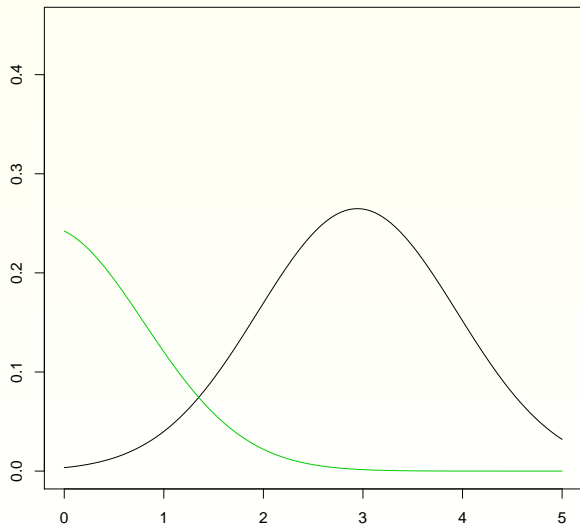
En univarié, on sait que le maximum de  $n$  v.a. tend vers une GEV.

$$\frac{\max X_i - a_n}{b_n} \xrightarrow{\mathcal{L}} GEV$$

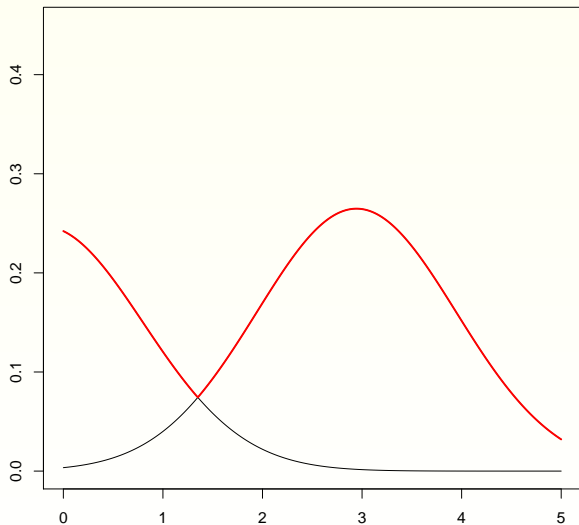
En spatial, si on prend le maximum point par point de  $n$  processus spatiaux, ce maximum tend vers un processus max-stable.

$$\text{pour tout } x, \quad \max Z_i(x) \xrightarrow{\mathcal{L}} \text{Proc. max-stable}$$

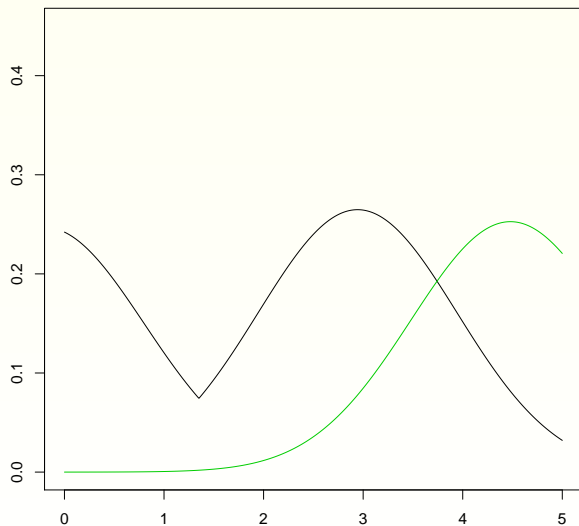
## Travaux WP1 : Max-stable



## Travaux WP1 : Max-stable

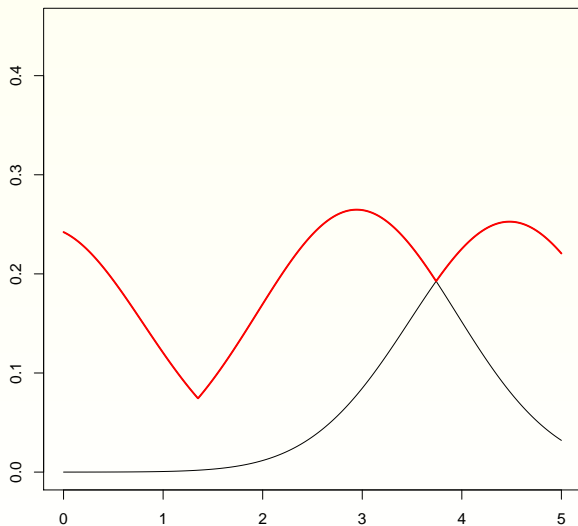


## Travaux WP1 : Max-stable

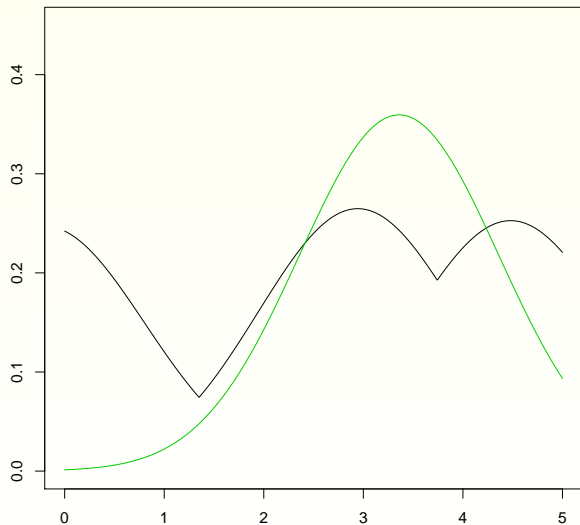




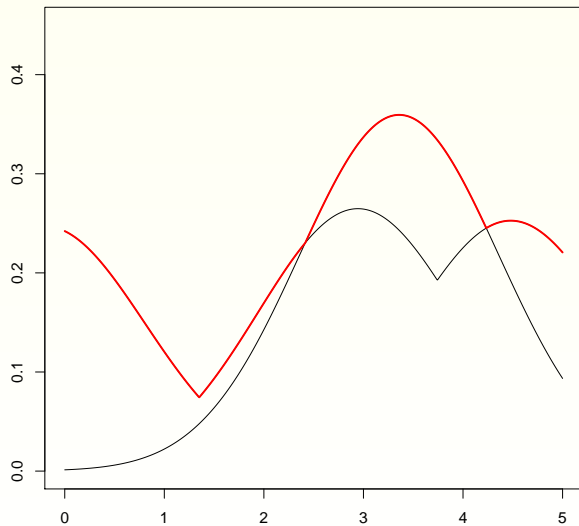
## Travaux WP1 : Max-stable



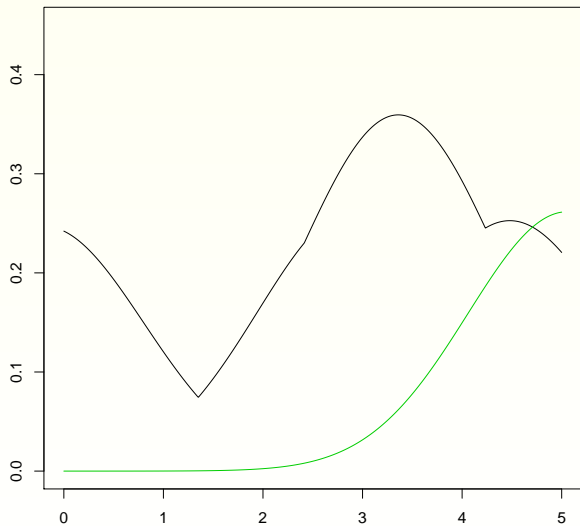
## Travaux WP1 : Max-stable



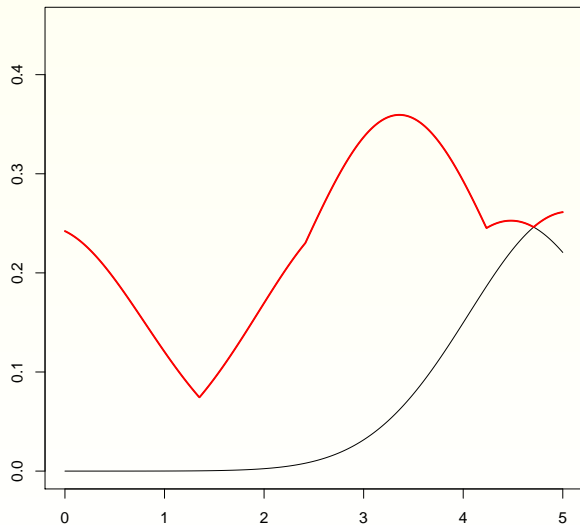
## Travaux WP1 : Max-stable



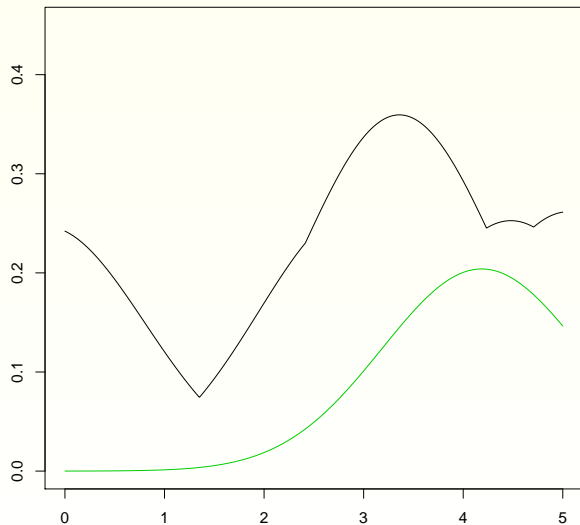
## Travaux WP1 : Max-stable



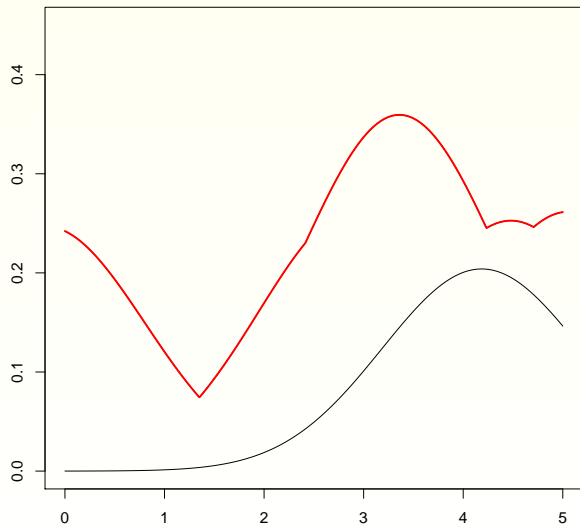
## Travaux WP1 : Max-stable



## Travaux WP1 : Max-stable



## Travaux WP1 : Max-stable



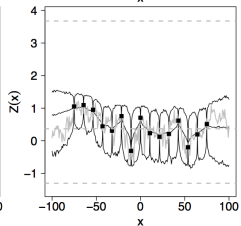
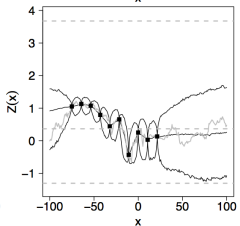
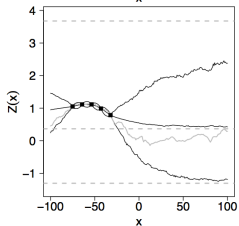
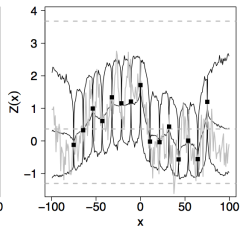
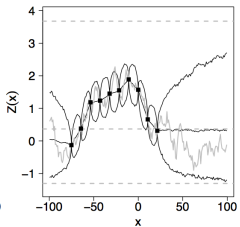
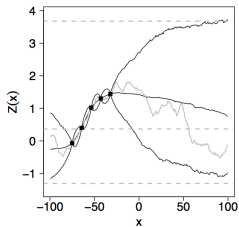
## Processus max-stable

Candidat idéal pour des mesures de risques spatiales

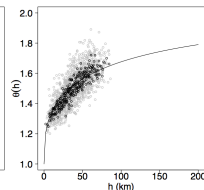
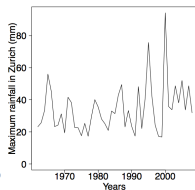
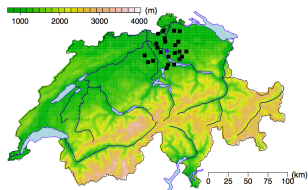
- ① Peu de modèles existants
- ② Peu de méthodes d'estimation des paramètres
- ③ Pas de méthode de "krigeage"



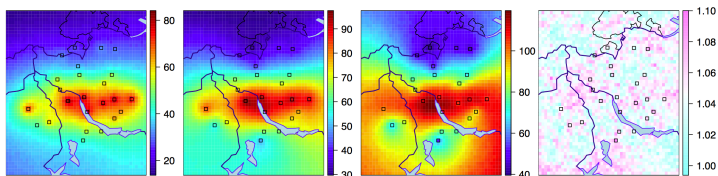
# Travaux WP 1 : Simulations conditionnelles



# Travaux WP 1 : Simulations conditionnelles



# Travaux WP 1 : Simulations conditionnelles



### WP2 : Détection de tendances et de rupture

Changement climatique  $\Rightarrow$  détection de tendances ou ruptures (sur moyenne ou paramètres, en particulier sur leur caractère extrême).

### Entropie

$$D(f; g) = I(f, g) + I(g, f)$$

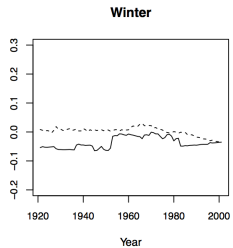
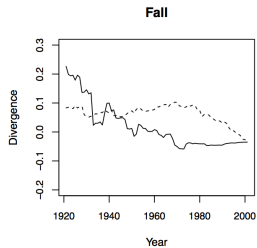
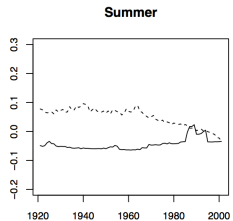
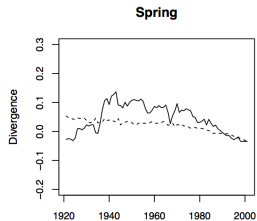
$$I(f, g) = \mathbb{E}_f \left( \log \left( \frac{f(X)}{g(X)} \right) \right)$$

$$\widehat{D}(f_u, g_u) = \widehat{I}(f_u, g_u) + \widehat{I}(g_u, f_u)$$

où

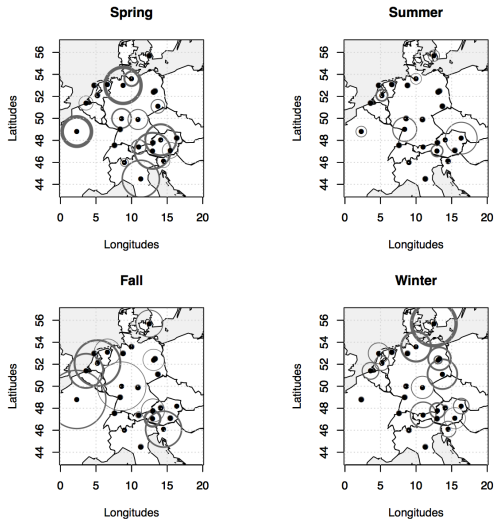
$$\widehat{I} = -\frac{1}{N_n} \sum_{i=1}^n \log \left( \frac{\overline{G_m}(X_i \vee u)}{\overline{G_m}(u)} \right) - 1$$

# Travaux WP 2 : Détection par l'entropie



# Travaux WP 2 : Détection par l'entropie

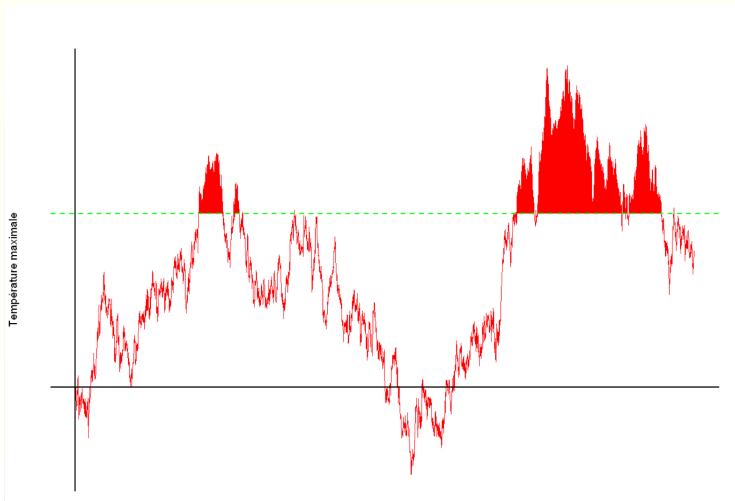
## Maxima



### WP3 : Définition de nouvelles mesures de risque

Mesures de risques permettant d'aider à la décision en matière d'adaptation au changement climatique, mais aussi dans un contexte économique pour permettre une meilleure couverture de ces risques.

## Travaux WP 3 : Mesure





On peut définir une mesure de risque spatiale en se basant sur

$$L(A) = \frac{1}{|A|} \int_A \mathbb{1}_{[Z(x) > u]} dx$$

et la mesure considérée est

$$R_1(A) = \mathbb{E}(L(A)) \quad \text{ou} \quad R_2(A) = \mathbb{V}(L(A)).$$

Sinon on peut se baser sur

$$L(A) = \int_A Z(x)^\beta dx$$

qui peut être vu comme le risque extrême agrégé sur une région  $A$  si  $Z$  représente un processus max-stable. Par exemple, si  $Z$  est le processus représentant la vitesse de vent maximum,  $L(A)$  représente le montant des pertes agrégées dues au vent.

### WP4 : Assurabilité des risques climatiques

⇒ Application en réassurance, réassurabilité des catastrophes naturelles avec une prise en compte du changement climatique.

Capital initial d'une compagnie nécessaire pour garantir sa solvabilité (Solvabilité II).

### Probabilité de ruine

$$R(t) = u + ct - S(t)$$

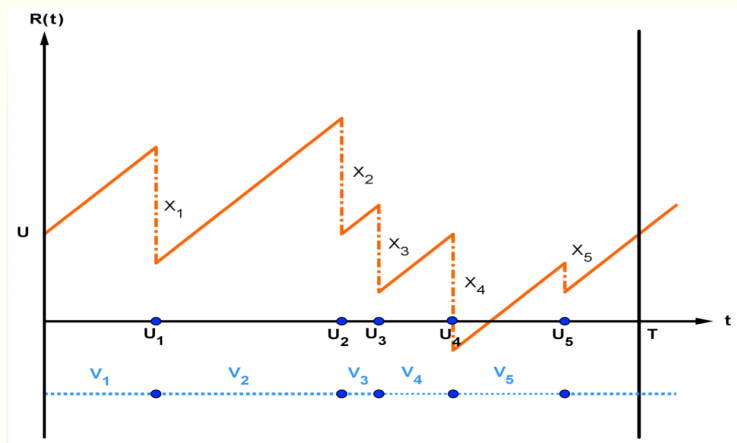
$$\text{où } S(t) = \sum_{i=1}^{N_t} X_i$$

et les  $X_i$  représentent les montants des sinistres.

La probabilité de ruine est définie par

$$\Psi(u) = \mathbb{P}(R(t) < 0 \text{ pour un } t \geq 0)$$

## Travaux WP 4 : Probabilité de ruine



### Probabilité de ruine

$$S_t = \sum_{i=1}^{N_t} \mu(u_i) X_i - ct$$

$$\mu(t) = \lambda(t) = \frac{1}{4} + \frac{1}{10} \sin\left(2\pi \frac{t}{T}\right) + \frac{0.075}{120} \left(\frac{t}{T}\right)^2.$$

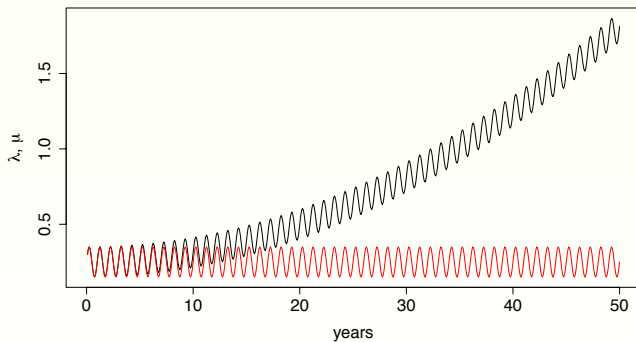
$$\text{ou (sans CC)} \quad \mu^*(t) = \lambda^*(t) = \frac{1}{4} + \frac{1}{10} \sin\left(2\pi \frac{t}{T}\right)$$

$$\text{On a alors} \quad \mathbb{E} \sum_{i=1}^{N_T} \mu(u_i) X_i = \mathbb{E} X_1 \int_0^T \mu(t) \lambda(t) dt$$

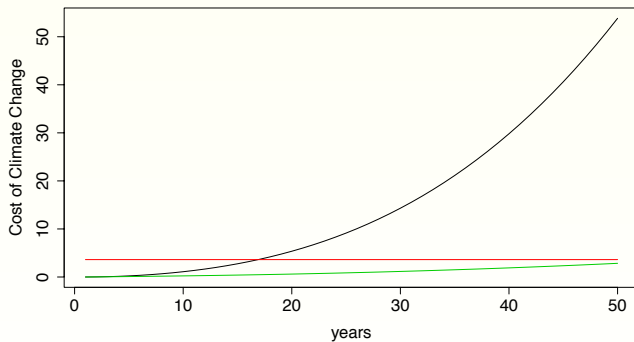
$$\text{On choisit les primes } c = 1.1 \times \frac{1}{T} \mathbb{E} \sum_{i=1}^{N_t} \mu(u_i) X_i.$$

Coût du CC = Cap. init. avec CC – Cap. init. sans CC – 0.1 × Primes reçues

## Travaux WP 4 : Probabilité de ruine



## Travaux WP 4 : Probabilité de ruine



# Récapitulatif

## Production

42 articles publiés ou acceptés, 17 articles soumis  
une soixantaine de présentations dans des congrès ou conférences

## Interaction

Projet McSim (ANR)  
Projet PEPER (GIS)

## Doctorat

Thomas Opitz (UM2) a soutenu en Novembre 2013  
Erwan Koch (UCBL) soutiendra le 2 juillet 2014

Merci de votre attention