

Les évènements extrêmes : *des papillons et des cygnes noir, les facéties du climat*

Pascal Yiou

LSCE, Gif-sur-Yvette

Evénements Extrêmes

- Société et certains éco-systèmes sont généralement plus sensibles à quelques **événements extrêmes** (canicules, tempêtes, vagues de froid...) qu'à des **variations lentes** de l'environnement
- Les phénomènes extrêmes sont par essence rares, et demandent des techniques statistiques ad hoc

Extrêmes: définitions

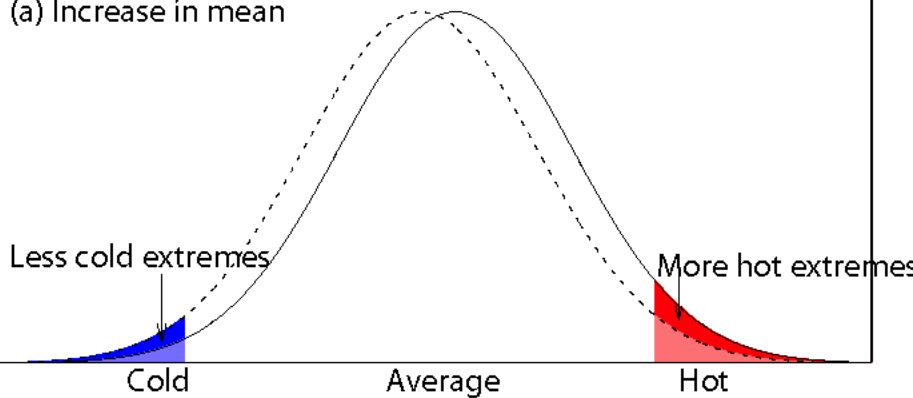
- Mathématiques & statistiques
 - Maximum annuel, dépassement de seuil, valeurs rares...
- Physiques
 - Typologie d'événements: vagues de chaleur, de froid, tempêtes, sécheresses...
- Société & impacts
 - Dégâts, coûts...
 - Risque & vulnérabilité

Conséquences d'un changement climatique

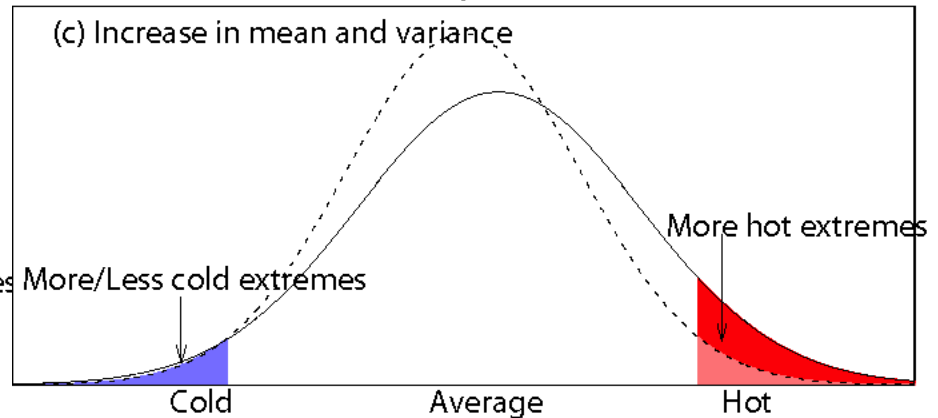
Temperature

Temperature

(a) Increase in mean

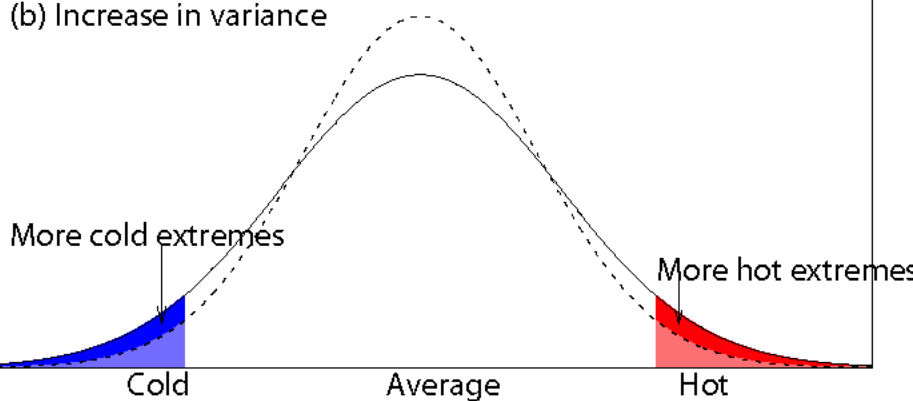


(c) Increase in mean and variance



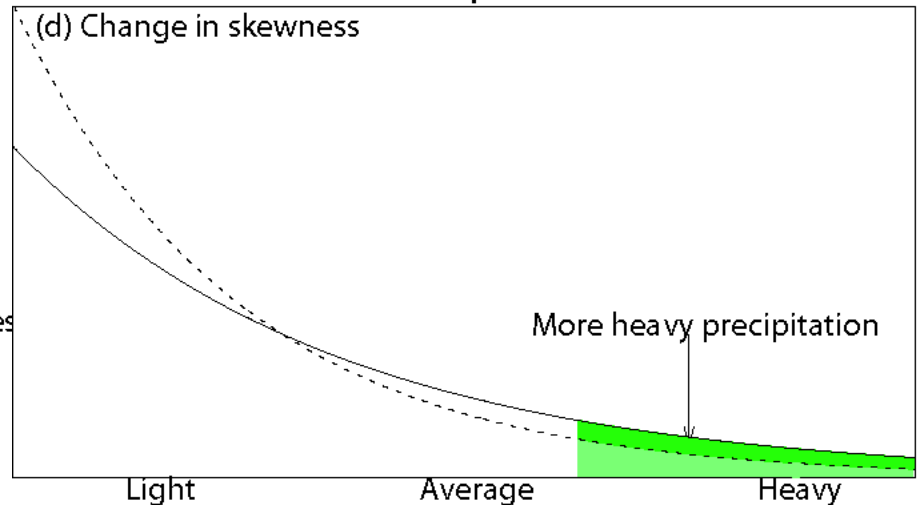
Temperature

(b) Increase in variance



Precipitation

(d) Change in skewness



Un peu de bon sens

- Quelle que soit la définition, il y a toujours eu des extrêmes...
- ... Et il y en aura d'autres

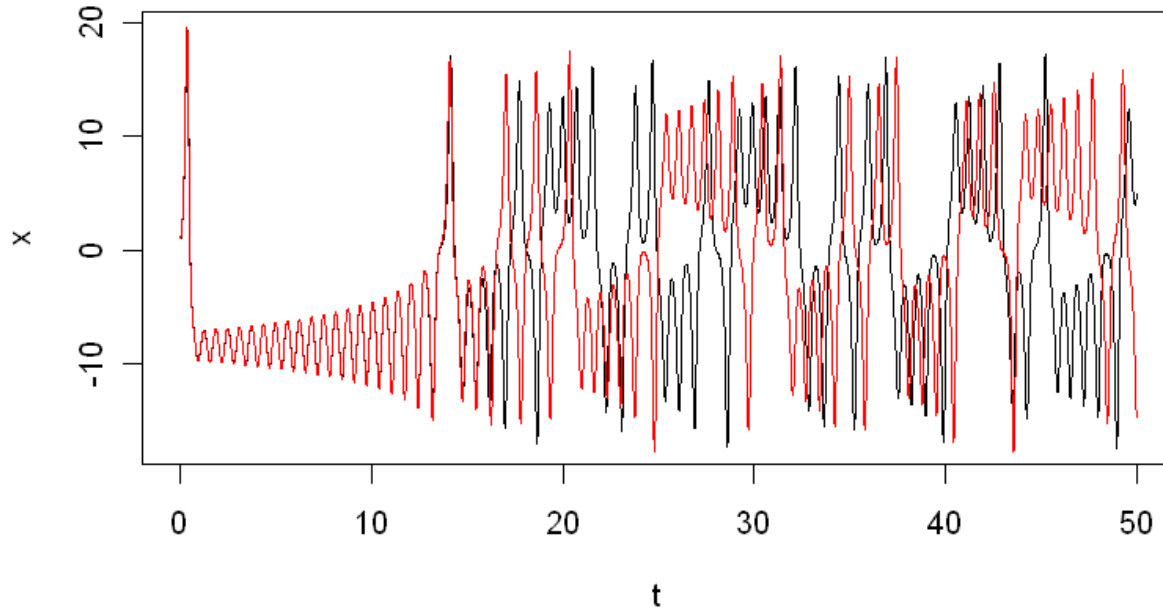
Où est le problème?

- Défis scientifique
 - Les événements « extrêmes » (climatiques) sont-ils somme les événements « normaux », mais juste plus « intenses »? (e.g., S. Fitzgerald, *Gatsby le magnifique*)
 - Sont-ils plus nombreux, plus intenses avec les fluctuations climatiques à long terme?

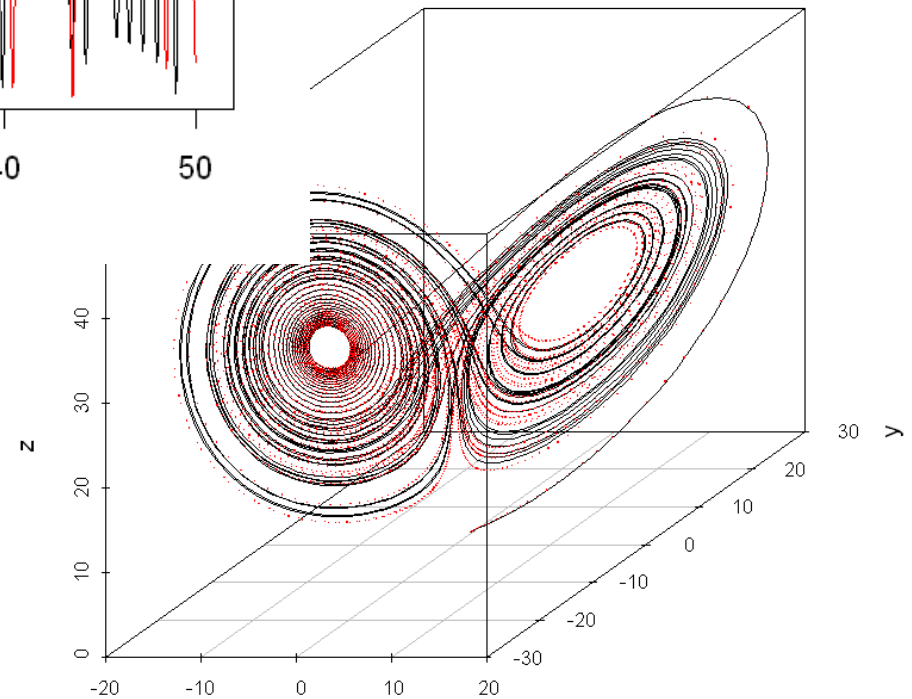
Météo. vs. Climato.

- La météorologie cherche à prévoir une trajectoire issue d'une condition initiale donnée
 - Problème de la sensibilité à la condition initiale
- La climatologie cherche à décrire l'ensemble des trajectoires
 - Si une seule trajectoire est disponible, mais assez longue, on peut quand même décrire l'ensemble en question

Le modèle de Lorenz (1963)



$$\begin{cases} \dot{x} = \sigma(y - x), \\ \dot{y} = \rho x - y - xz, \\ \dot{z} = -\beta z + xy. \end{cases} \quad \sigma, \beta, \rho \geq 0,$$



Un Modèle Chaotique

- Forte sensibilité aux conditions initiales
- Aphorisme de E.N. Lorenz (1972):
 - « Un battement d'aile de papillon au Brésil peut-il déclencher une tornade au Texas ? »

Les extrêmes « spéciaux »

- Les « cygnes noirs » (*black swans*)
 - Les événements encore jamais observés
 - Cf. N. N.Taleb & finance
- Les « tempêtes parfaites » (*perfect storms*)
 - La conjonction d'événements sans grandes conséquences, pris individuellement, mais dont la somme est dévastatrice.
 - E.g., Xynthia (2010)

Qu' est-ce que le *risque*?

- Péril
 - Evénements climatiques, terrorisme...
- Exposition
 - Biens, activité économique, santé, biodiversité...

Exemples



Froid, chaud,
humide, sec,
vent...

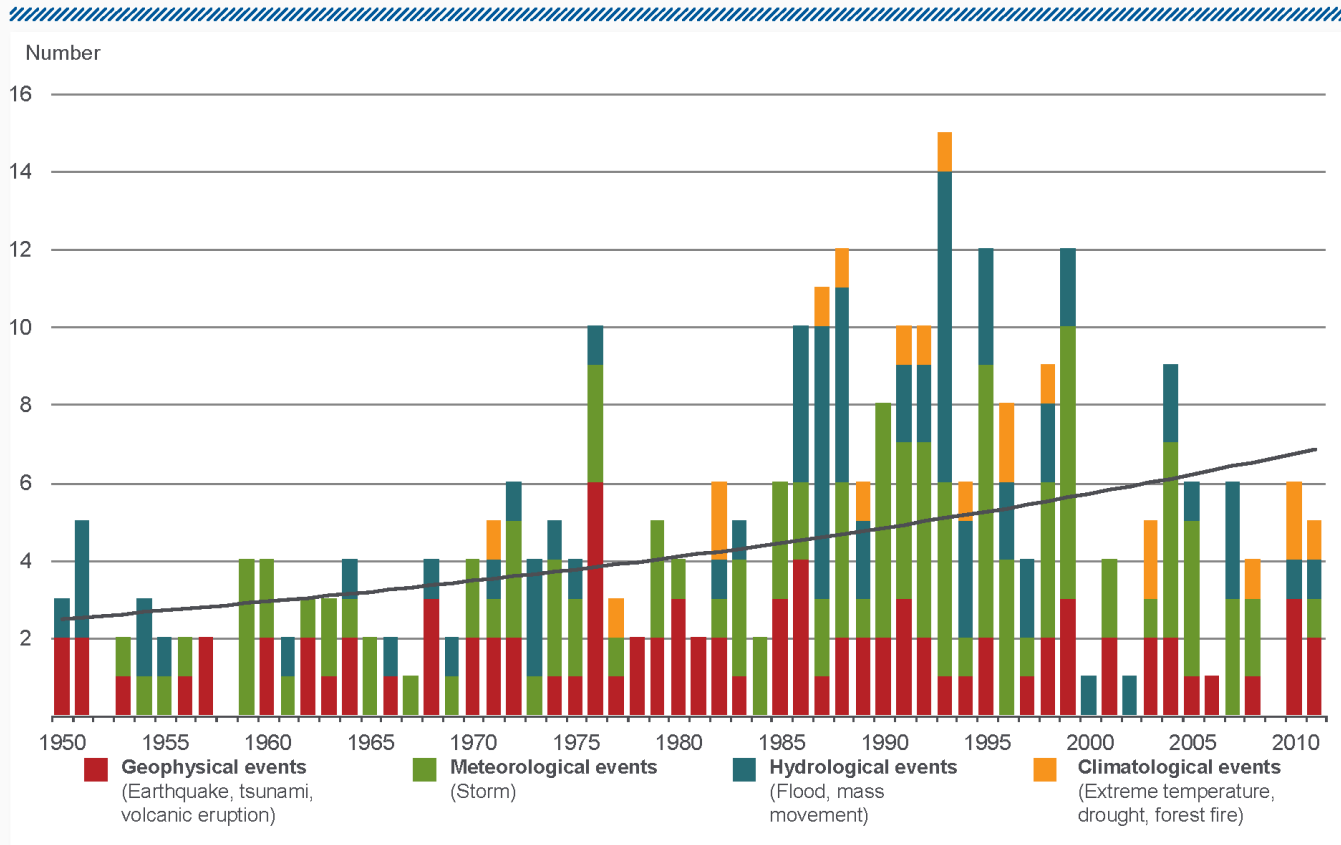


Catastrophes naturelles

NatCatSERVICE

Great natural catastrophes worldwide 1950 – 2011

Number of events with trend



© 2012 Münchener Rückversicherungs-Gesellschaft, Geo Risks Research, NatCatSERVICE – As at January 2012

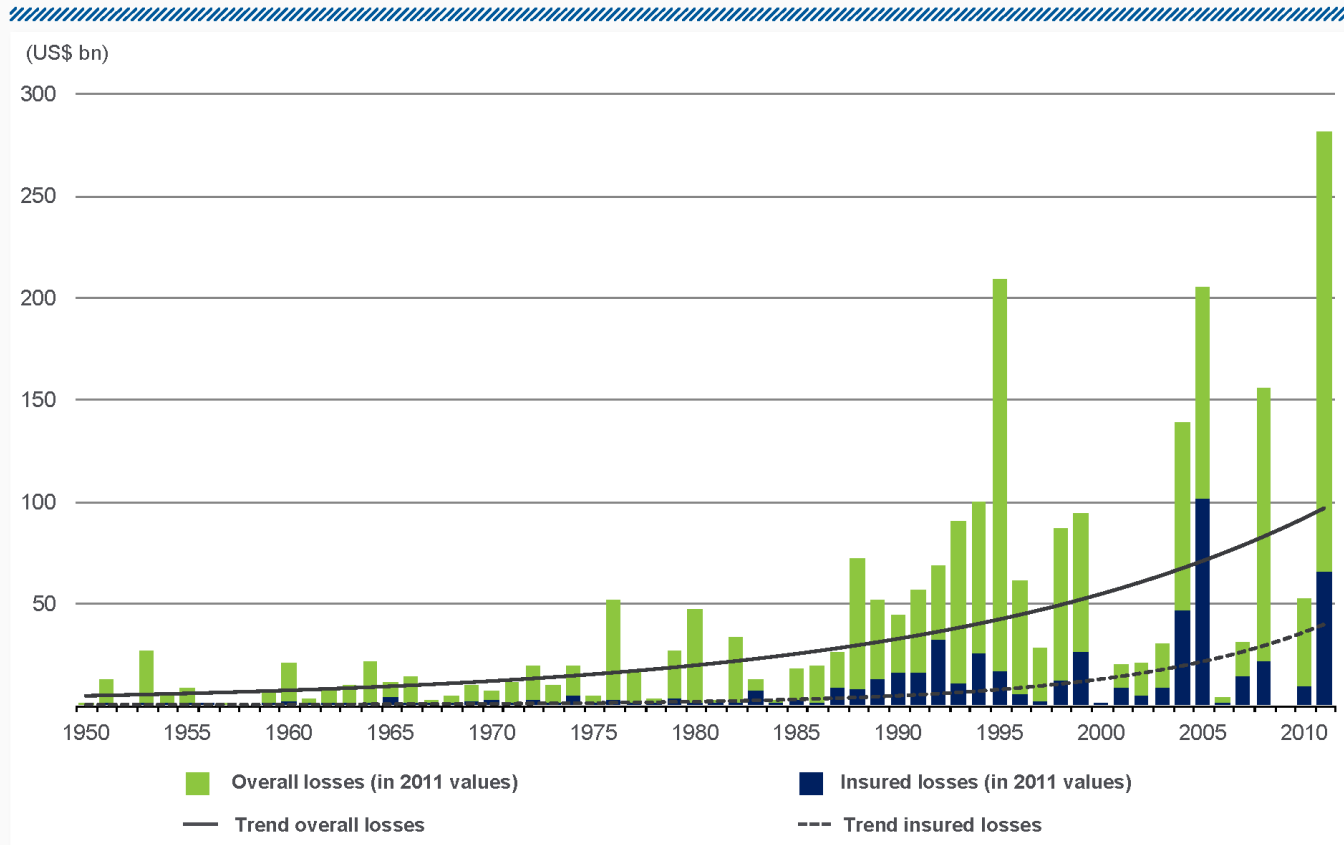


Coût des catastrophes

NatCatSERVICE

Great natural catastrophes worldwide 1950 – 2011

Overall and insured losses with trend

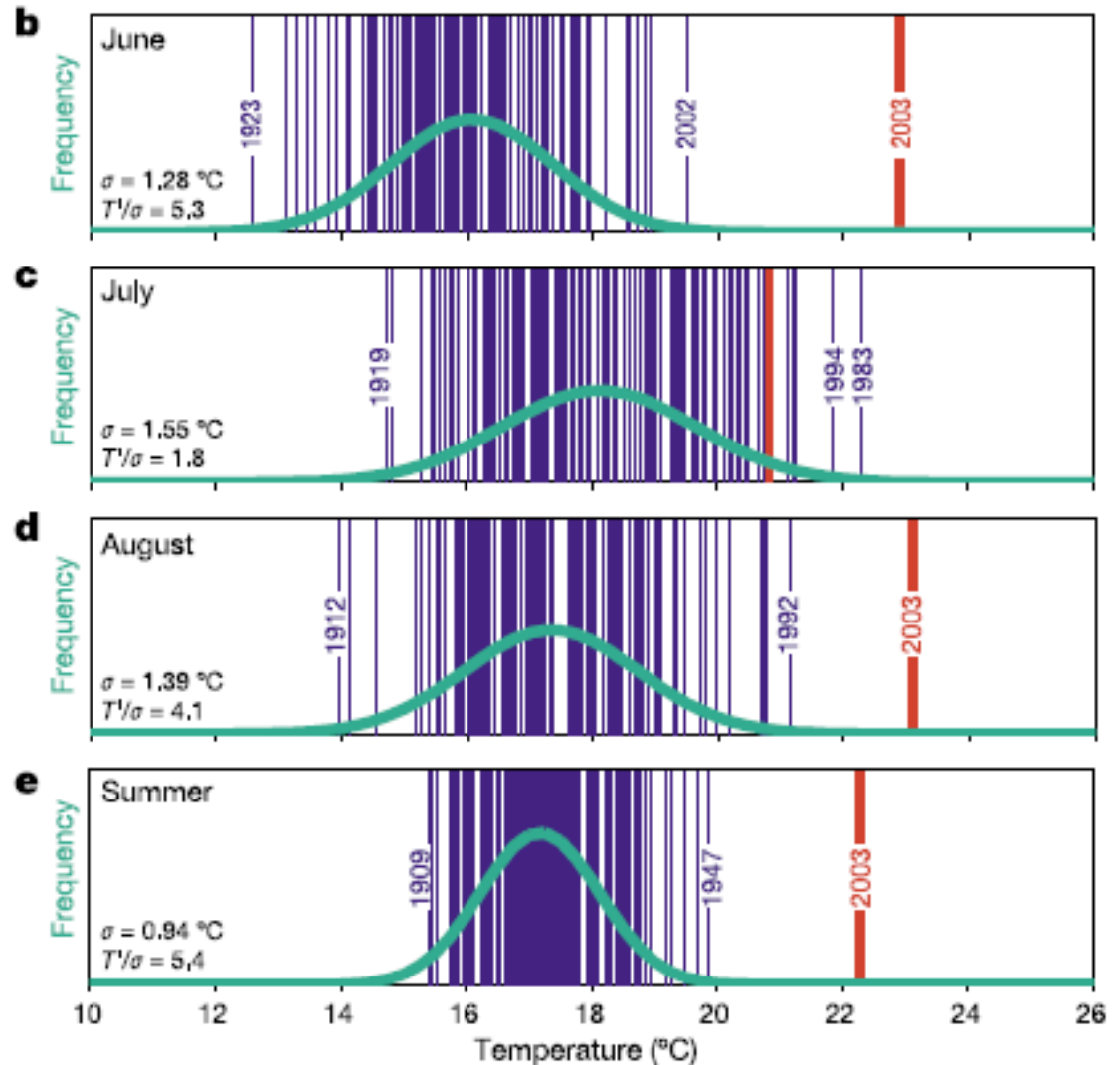


© 2012 Münchener Rückversicherungs-Gesellschaft, Geo Risks Research, NatCatSERVICE – As at January 2012

Quand les canicules s'emballent

- La vague de chaleur en été
 - Une espèce spéciale d'événements extrêmes
 - Interaction entre sécheresse et fortes températures
 - Des traces « mortelles » dans l'histoire (cf. Le Roy Ladurie)

Le « cygne noir » de 2003

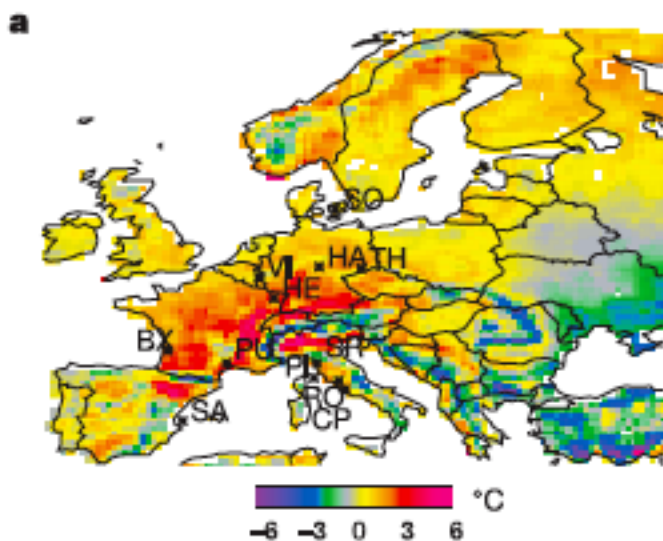


(Schär et al., Nature, 2004)

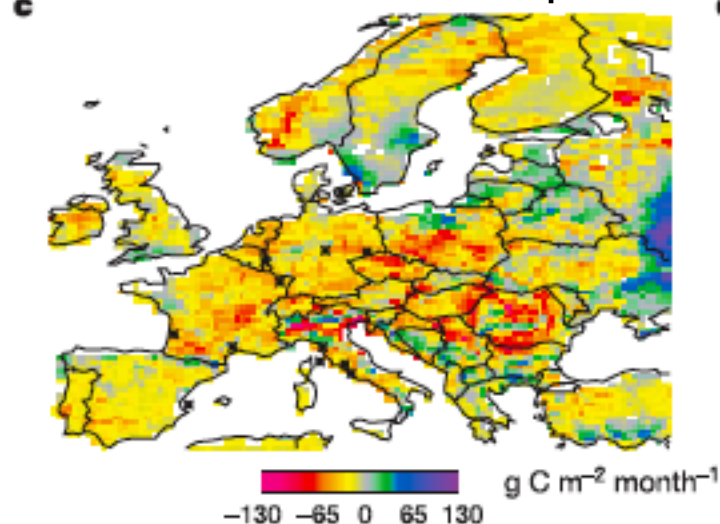
Impacts de la canicule de 2003

- Impacts sur les écosystèmes (observation et modélisation)

Anomalie de Température en 2003



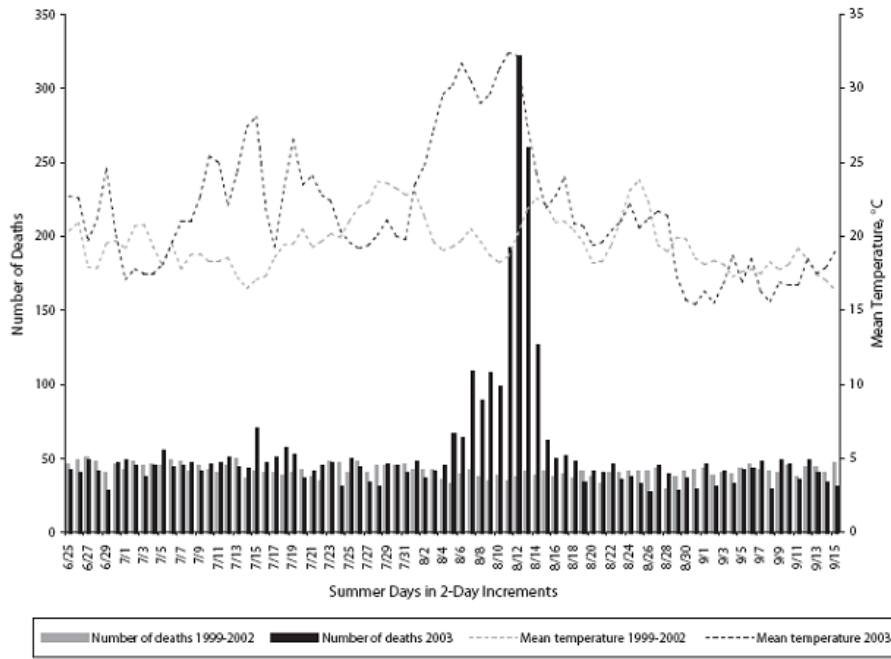
Anomalie de Productivité Primaire Nette en Europe



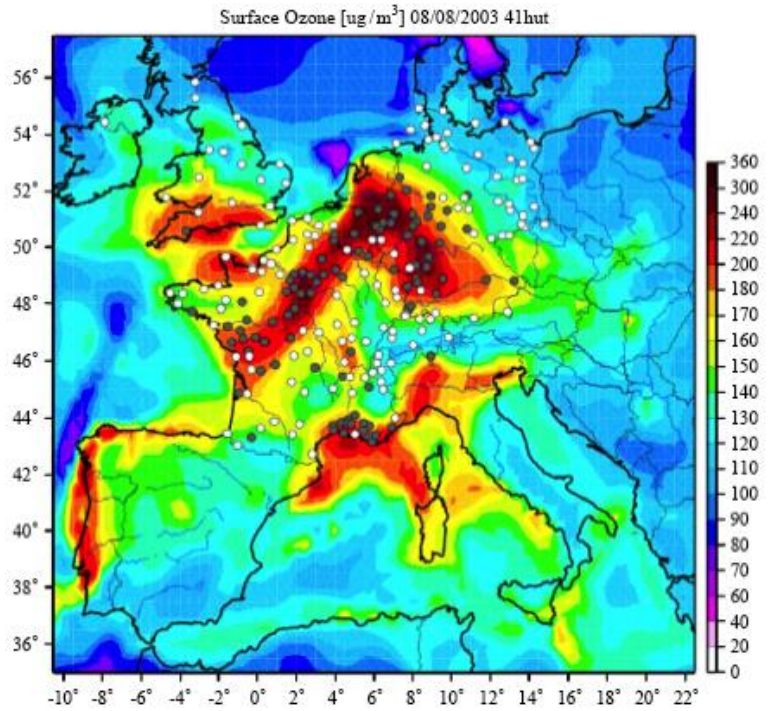
Arrêt de la productivité primaire nette des forêts

Ciais et al., Nature, 2005

Impacts de la canicule de 2003



Surmortalité pendant l'été 2003
Vandentorren et al., 2004

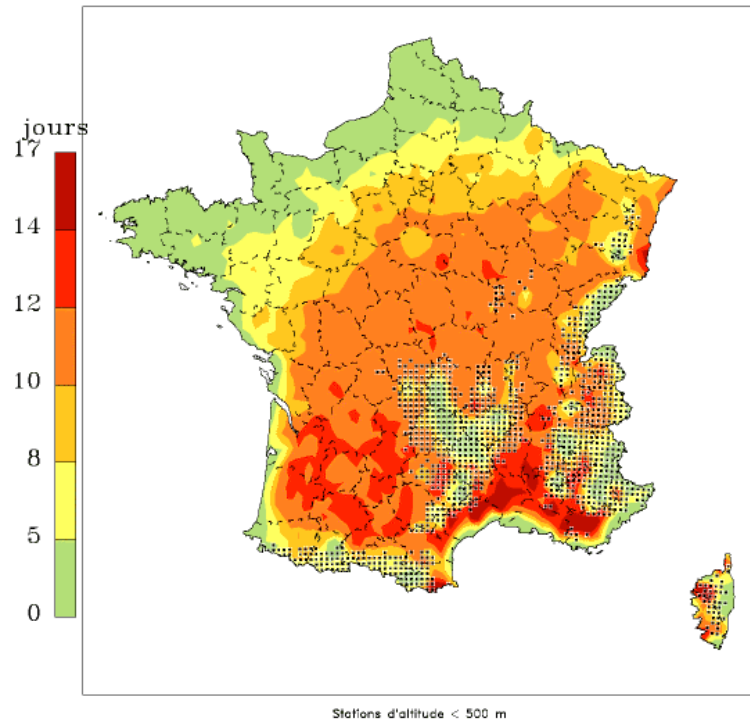


Pollution photochimique à grande échelle
Vautard et al 2005

- Sécheresse: pertes agricoles, écosystèmes
- Débits des rivières amoindris, températures accrues
- Feux : pollution particulaire, perte en carbone

Canicules exceptionnelles?

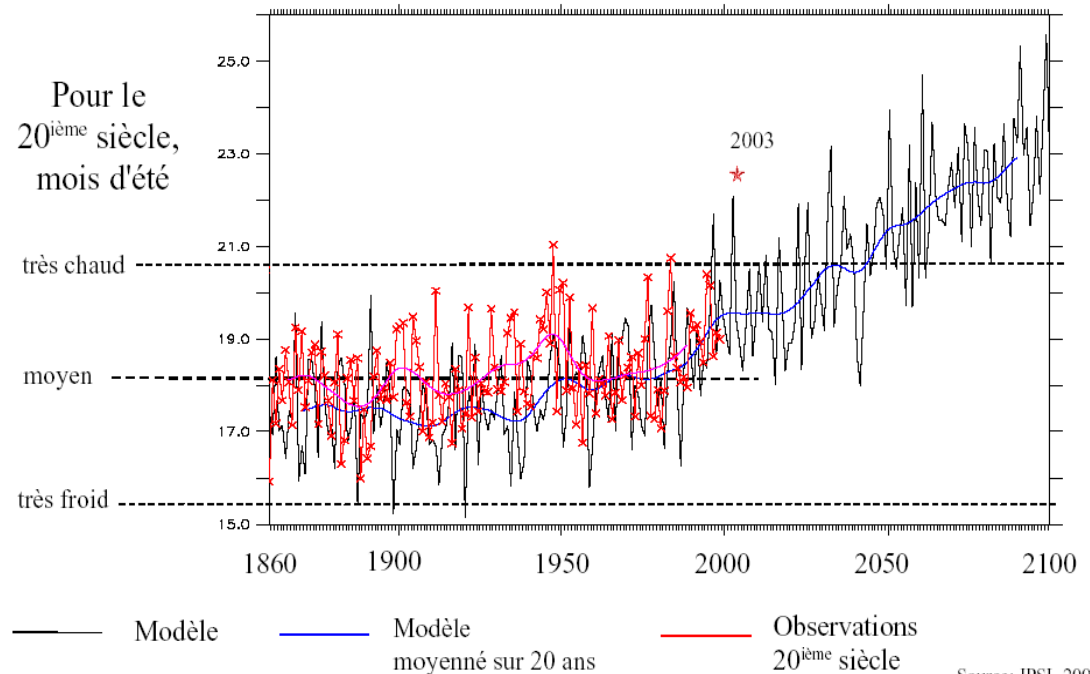
Nombre de jours avec température maximale $\geq 35^\circ \text{C}$
Période du 01/08/2003 au 18/08/2003



La canicule d'août 2003 a été exceptionnelle par sa durée (deux semaines) entre le 1er et le 15 août, son intensité et son extension géographique. L'été 2003 est le plus chaud jamais observé en Europe en 5 siècles.

Evolution de la température moyenne en été en France de 1860 à 2100

(modèle de l'IPSL, scénario SRES A2, sans aérosols)



Source: IPSL 2003

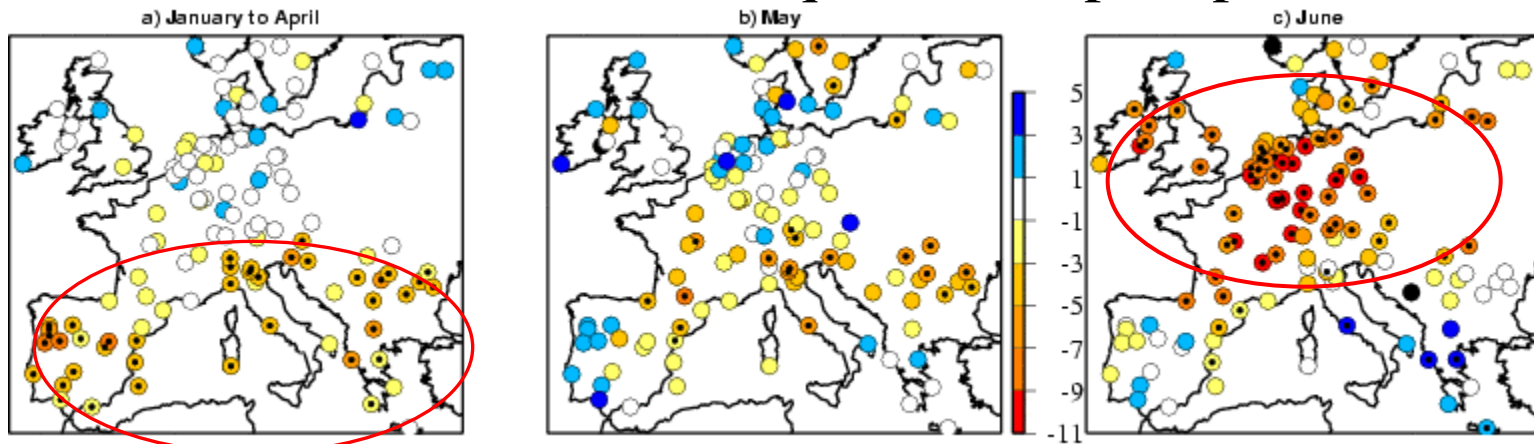
Comprendre les canicules en Europe

- Mécanismes liés à la sécheresse printanière
- Phénomène de rétroaction positive

Canicules en Europe

Processus météorologiques et physiques (signes précurseurs)

Anomalies de fréquences de précipitations

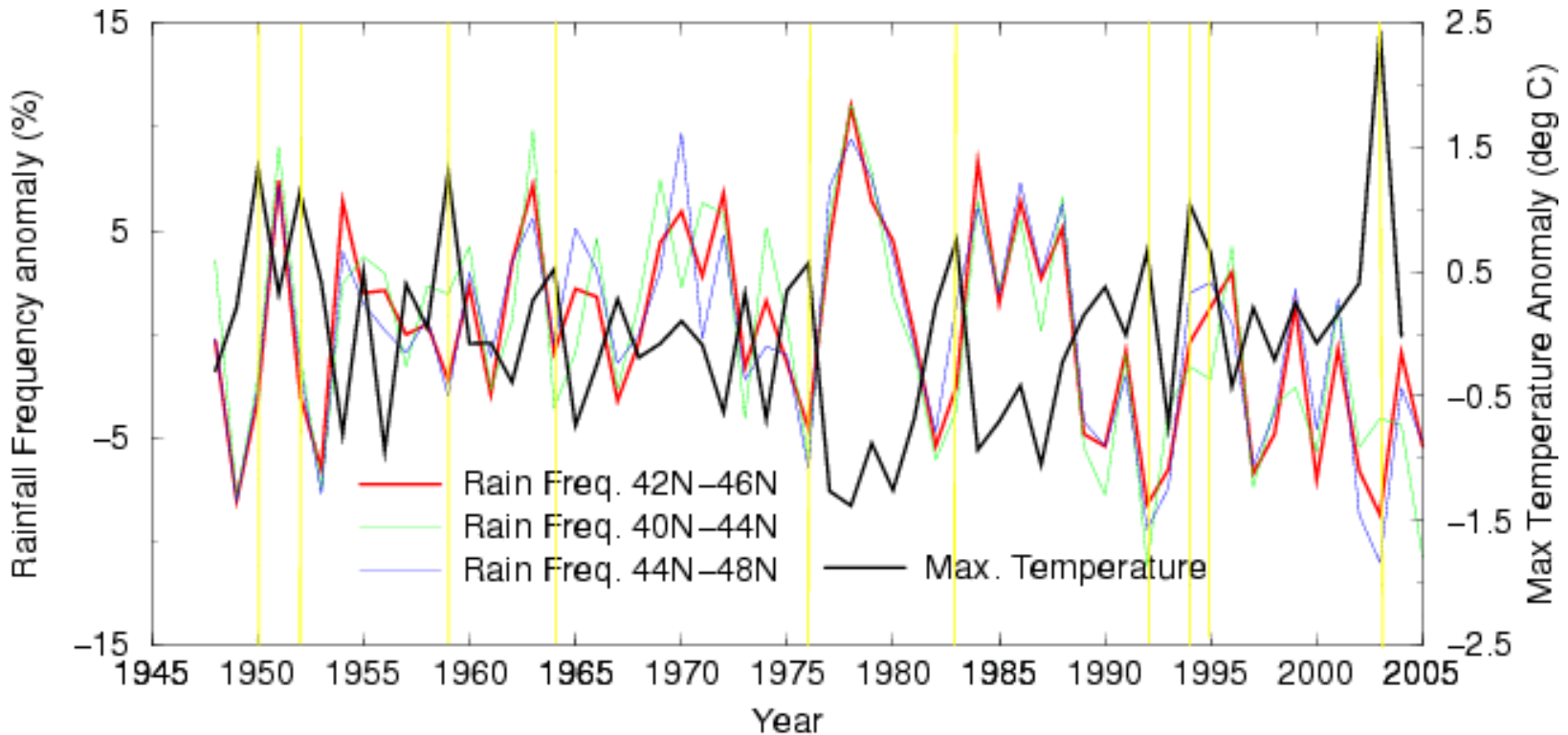


Une sécheresse au sud de l'Europe est une *condition nécessaire* au déclenchement de canicule



(Vautard et al., Geophys. Res. Lett., 2007)

Relation entre température d'été et précipitation de printemps

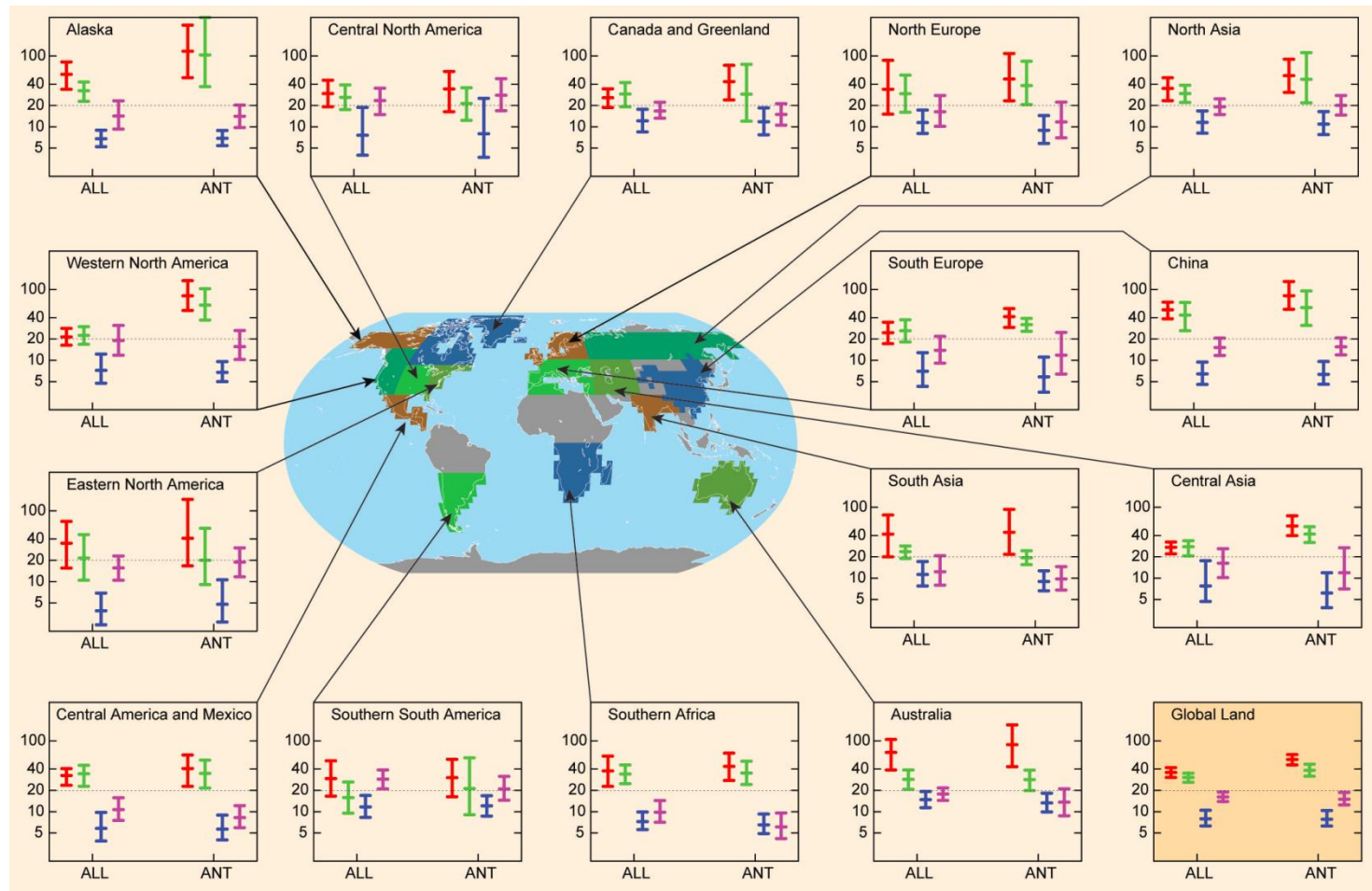


$R = -0.7$



(Vautard et al., Geophys. Res. Lett., 2007)

Changement dans les températures extrêmes



(SREX, 2012)



LSCE

D' autres extrêmes

- Vagues de froid
 - Processus physique différent
- Précipitations intenses
 - Echelle d' espace généralement très réduite
- Tempêtes
 - Grande échelle: tempêtes extra-tropicales (Lothar, Martin, Klaus, Xynthia)
 - Petite échelle: tempêtes cévenoles, cyclones méditerranéens
- ... Pannes de vent

Classification de tempêtes

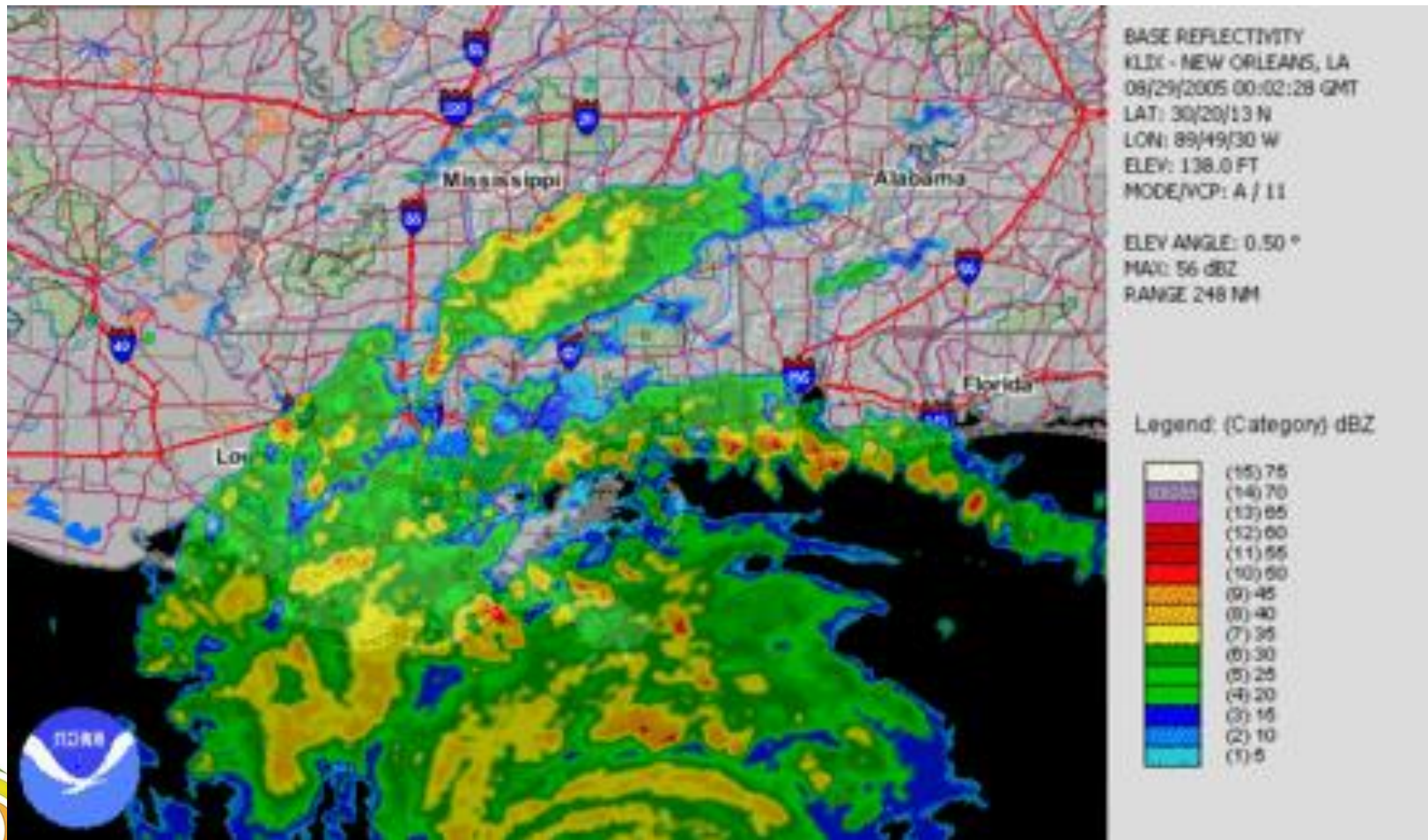
- Cyclones tropicaux
- Tempêtes extra-tropicales

Cyclone tropicaux

- La température de la mer $> 26^{\circ}$ C, sur une profondeur > 50 m, à l'endroit de la formation de la dépression qui deviendra cyclone.
- Suffisamment éloigné de l'équateur pour que la force de Coriolis puisse agir (5 à 10° de latitude).
- Des vents aux différents niveaux de l'atmosphère doivent être de direction et de force homogènes dans la zone de formation du cyclone.

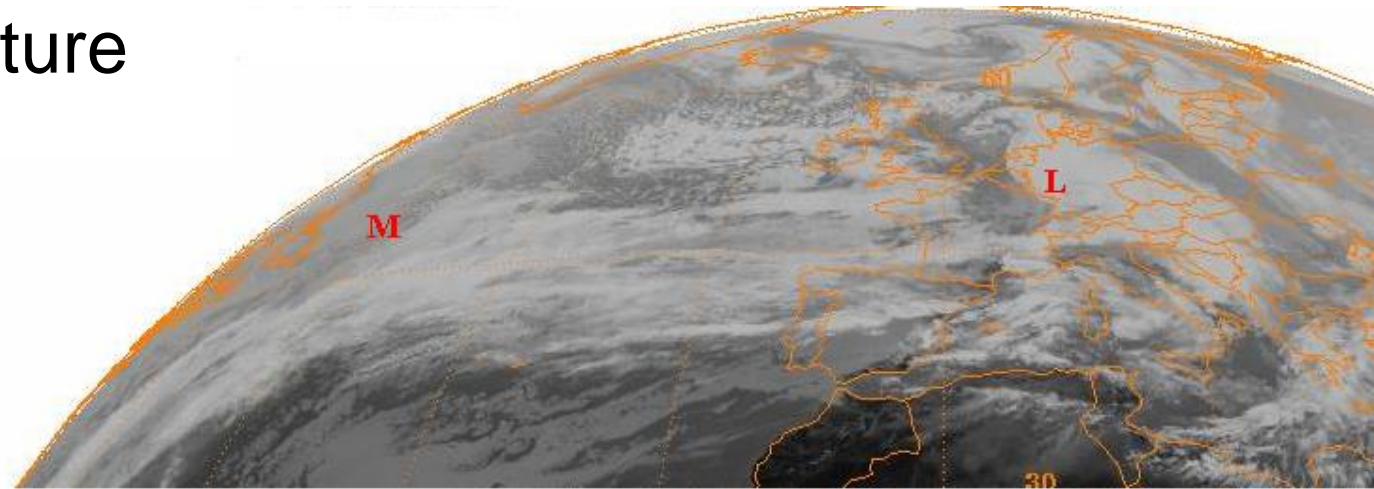


Cyclones tropicaux



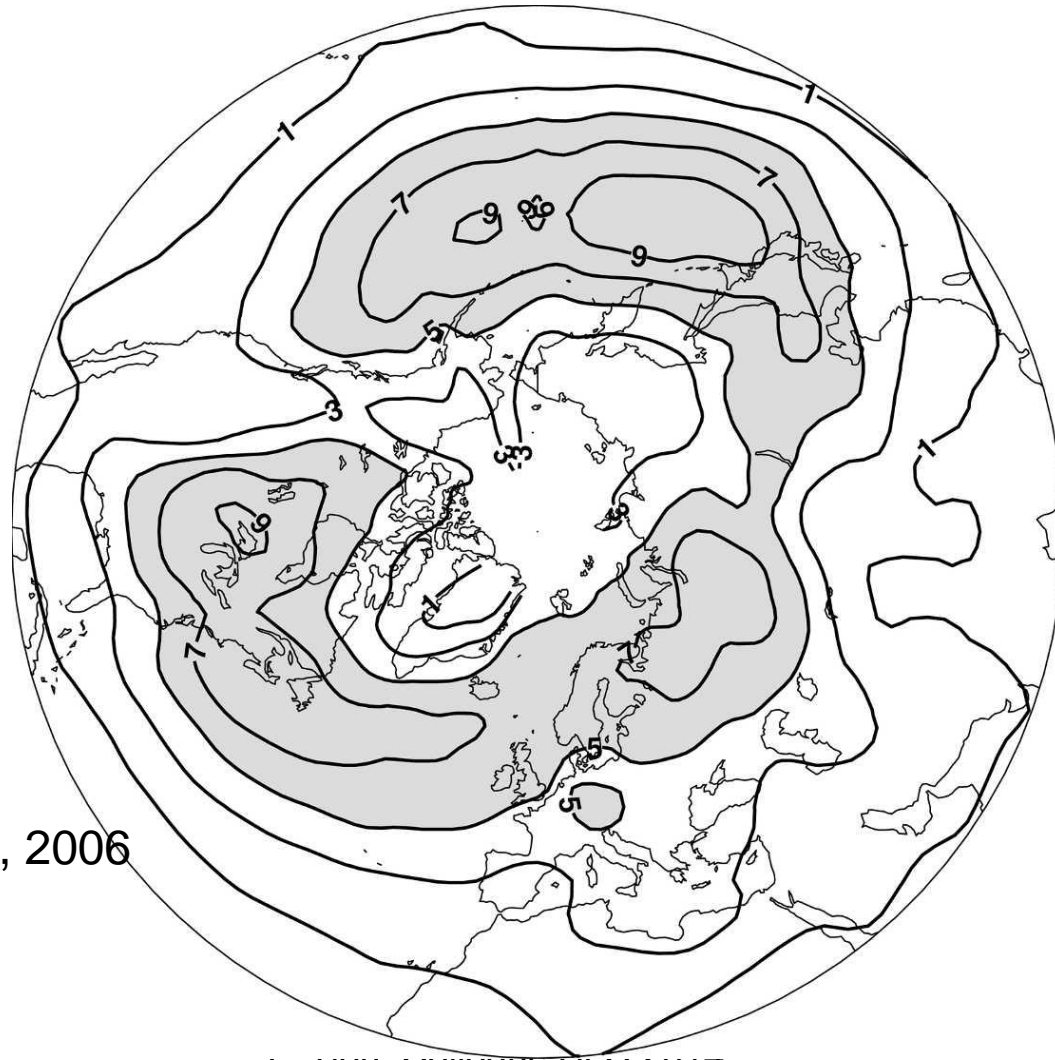
Cyclones (ou tempêtes) extra-tropicaux

- Formation entre la ligne des tropiques et le cercle polaire
- Associés à des fronts
 - i.e. des zones de gradients horizontaux de la température



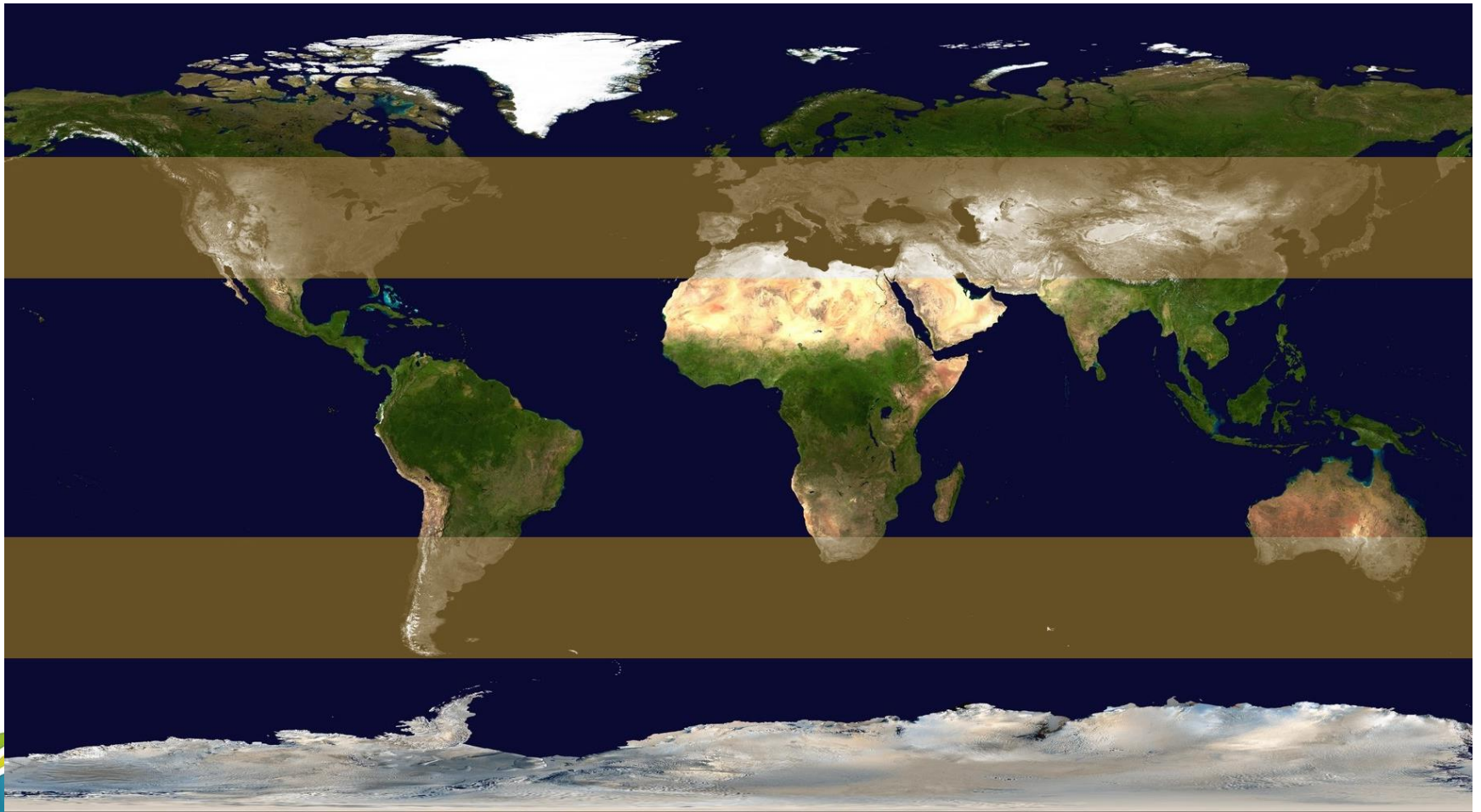
Meteosat-7 Dec-26-1999 11:30UTC
P. Yiou, Colloque SLC 2014

Rails des tempêtes

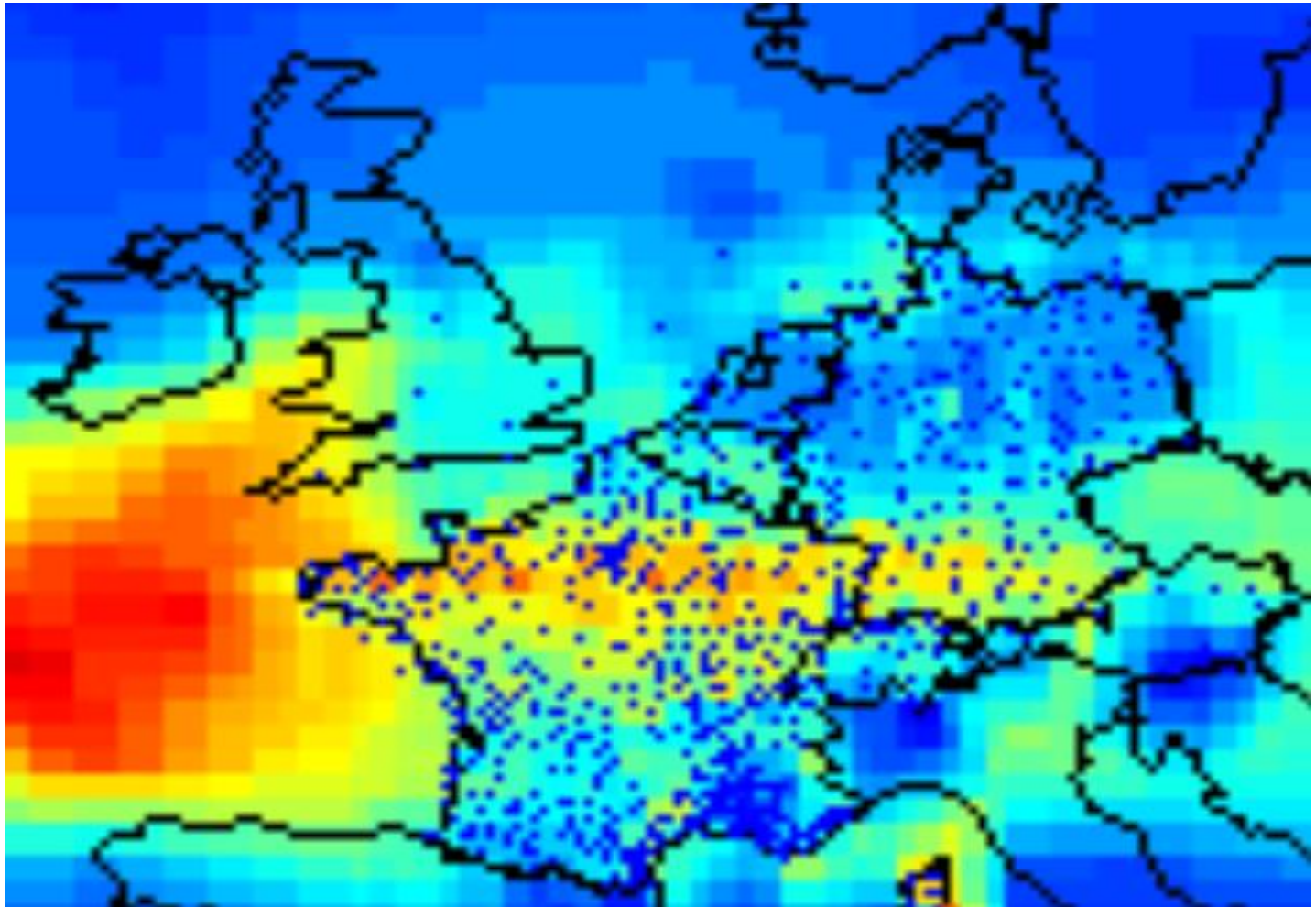


Mailier et al., MWR, 2006

Formation des tempêtes



Exemple: Lothar (26 Dec. 1999)

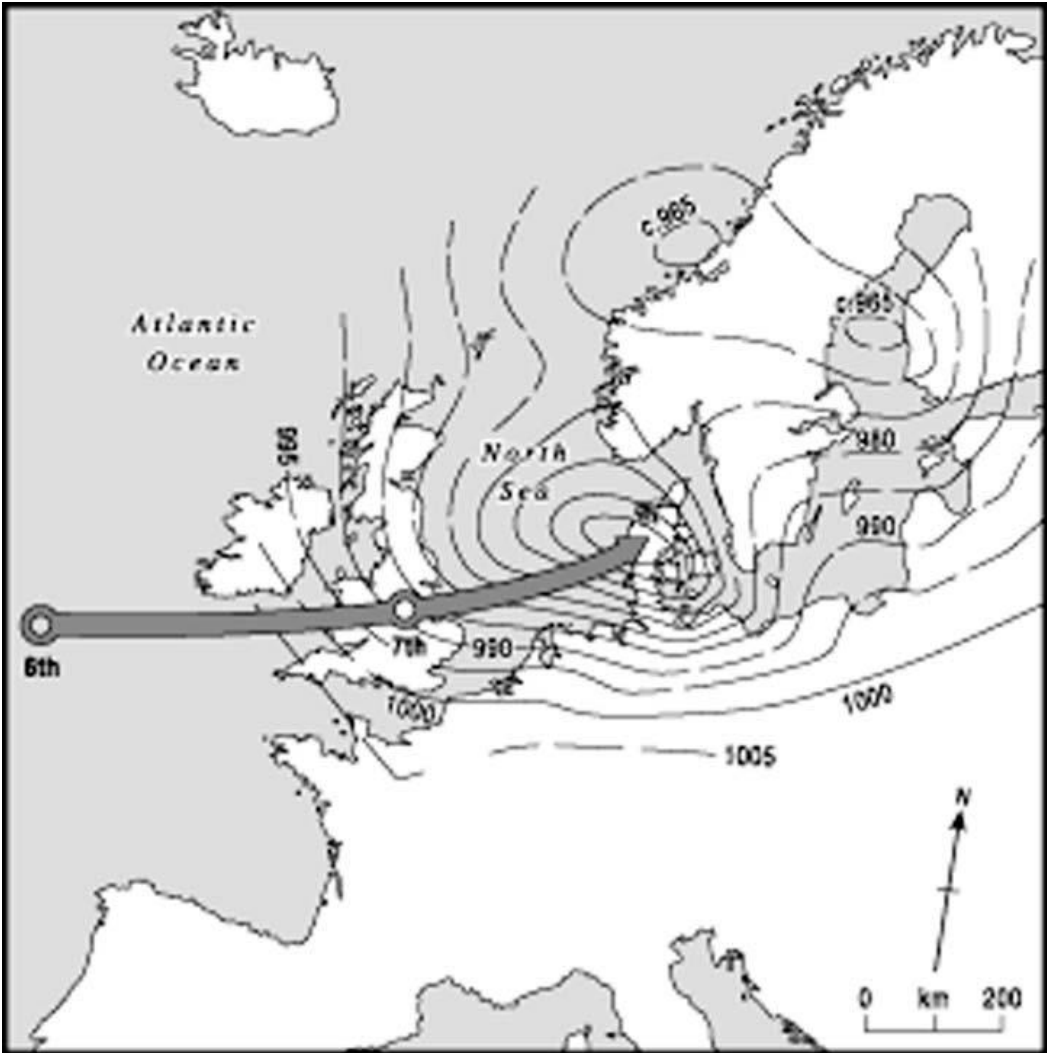


(Source: AXA)

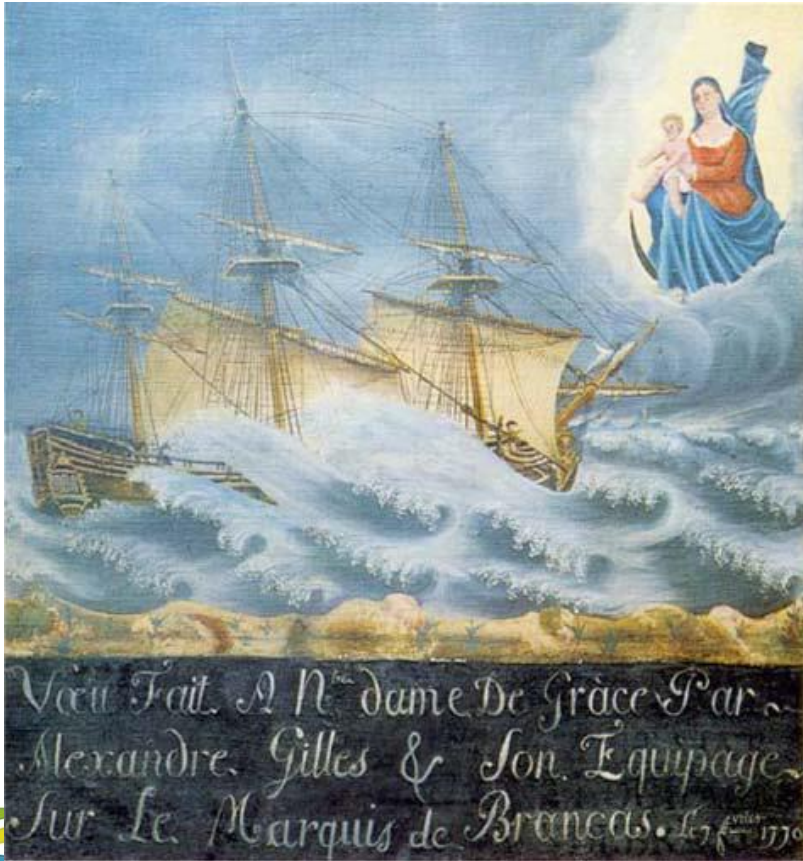
Les tempêtes des derniers siècles

- Données météorologiques et témoignages historiques
 - Données terrestres: dégâts (arbres, toits...), ex voto, mortalité, etc.
 - Données marines: livres de bord de navires

Great Storm, 7-8 Dec. 1703

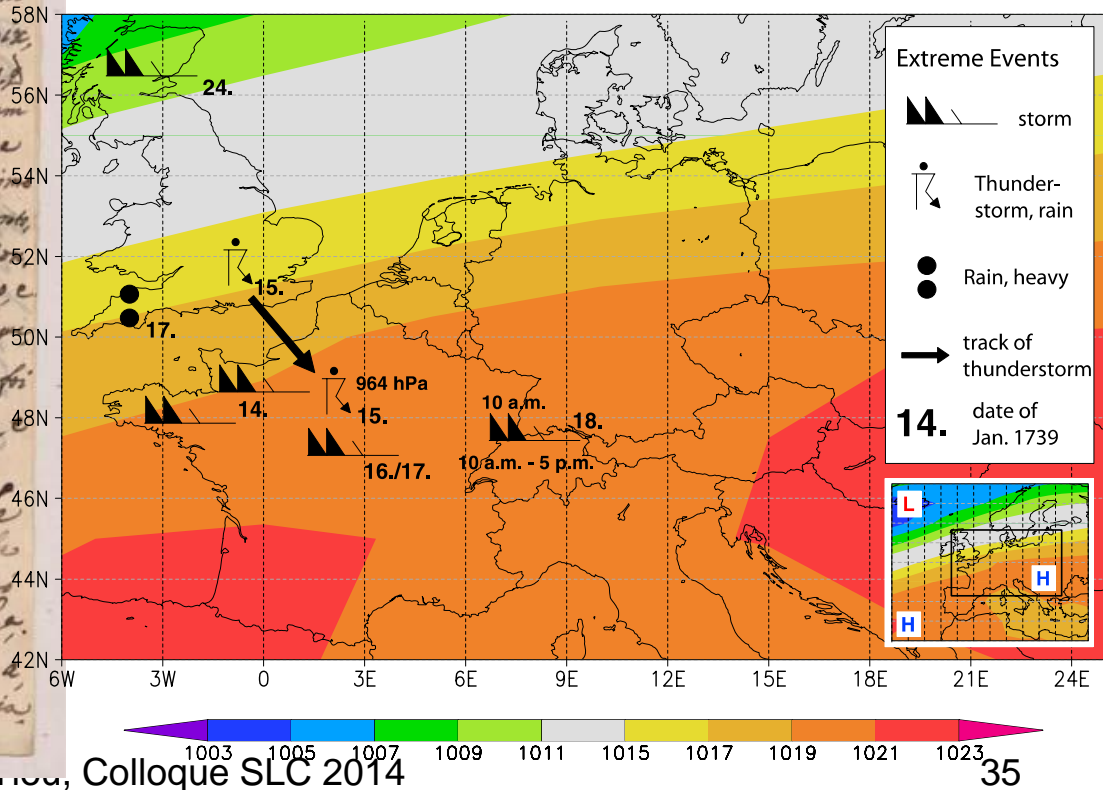


Hilaire-Prisca, 14-18 Jan. 1739

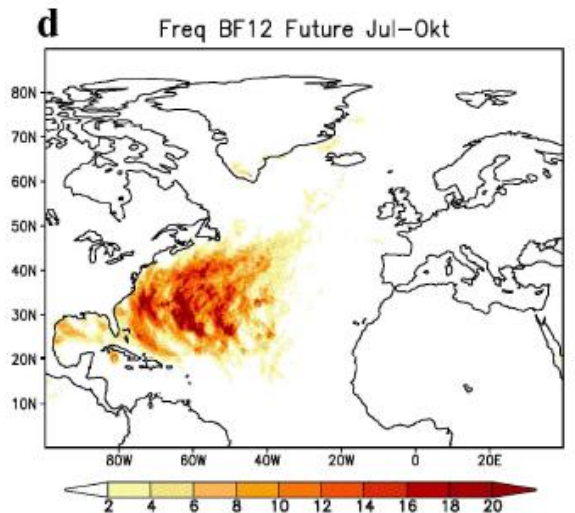
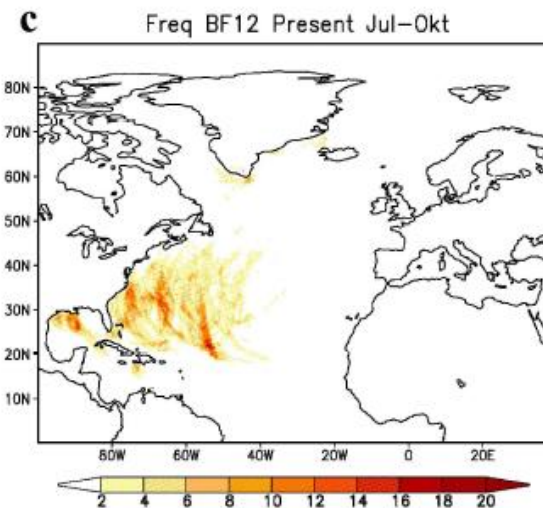
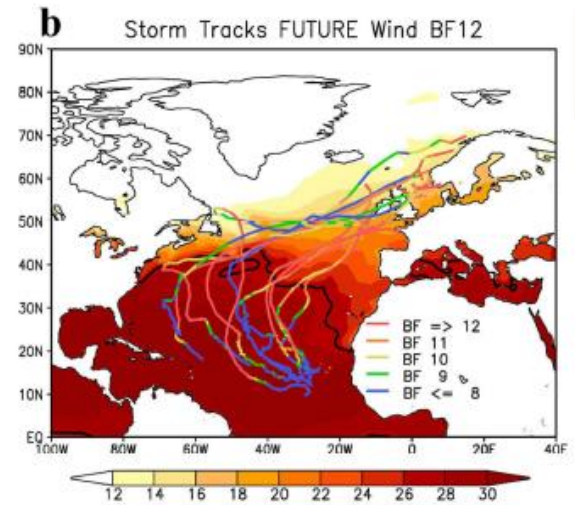
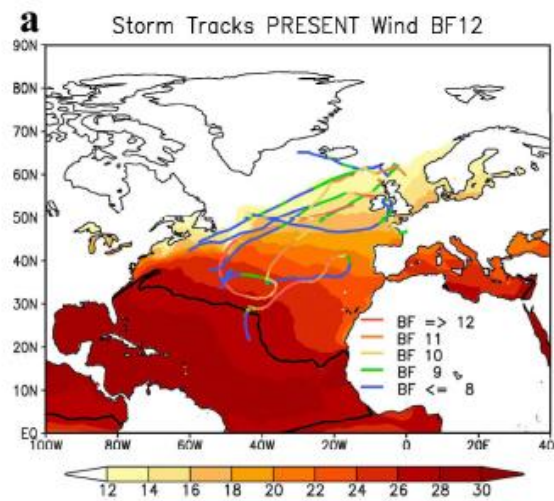


Barbara, 3-6 Dec. 1739

Le 8 de Decembre de 1739
 Extrait d'un mandement & Records Corrois & Anguistes, nees d'uzoris
 Pour gasterz mais modernes, enas l'itemz de Chanda de Ve
 Emma Esquis dema rifeto des Castry & tenz Inglatt, p' ~~1000-~~
 per Com Hest, potum Coma Franca onas s'ez tem d'etatin
 de Laniz, p' onde se lacolle d'ijo Franca onis s'p'anda ca,
 t'oz, s'ez alguna novide, que o l'rim, he d'ictern, tem
 d'etatur de Laniz, p' onde se lacolle d'etatur, de Marquis,
 mas nad se sabe que heje de do nias entre anday Corrois,
 outras p'ocuris, Et tambem admira q' o Com, d'um Em
 q'o, ad fonde de V'eluz, d'oz de p'atral, e este, e ad fonde
 de Keesing, d'ozas t'antaz p'ozto guardaz: P'o bastant
 de ad. D'ozas ainda nad se sabe esta, eja de Cobris o Com,
 p'oz d'um se esperanca. As continuz e d'um, e ad
 binuacis e d'islanica d'ozante se neste d'ozto gr, estrage e
 d'um se's mais de 23 os Navios, e estrangeiros, e d'ozing
 Tez que tem padido: Muz, Em novo, e Comjado d'ofis
 a pique a vista de seu d'ozto de fronte do faz de d'ozto,
 de mais de 30 p'ozoy, que temla, d'um se's p'ozoy 12:
 Outros e Nios fozos de se Sacavon, e mais adiante, e de
 guerra N. de, das Ondes, e l'acolle, e ainda d'um se's sabe
 bem adano que l'ouue nomez, e natema d'onde Vozat
 t'elley, Cruzes, Viduaz, carvoz, e m'oz d'ozing d'ozto.
 D'um & s'induzida d'um, mandard q'o, solozto de
 India, mas ad agora d'ozas se sabe mais neste materia.



Des cyclones tropicaux en Europe?



Haarsma et al., GRL, 2013



LSCE

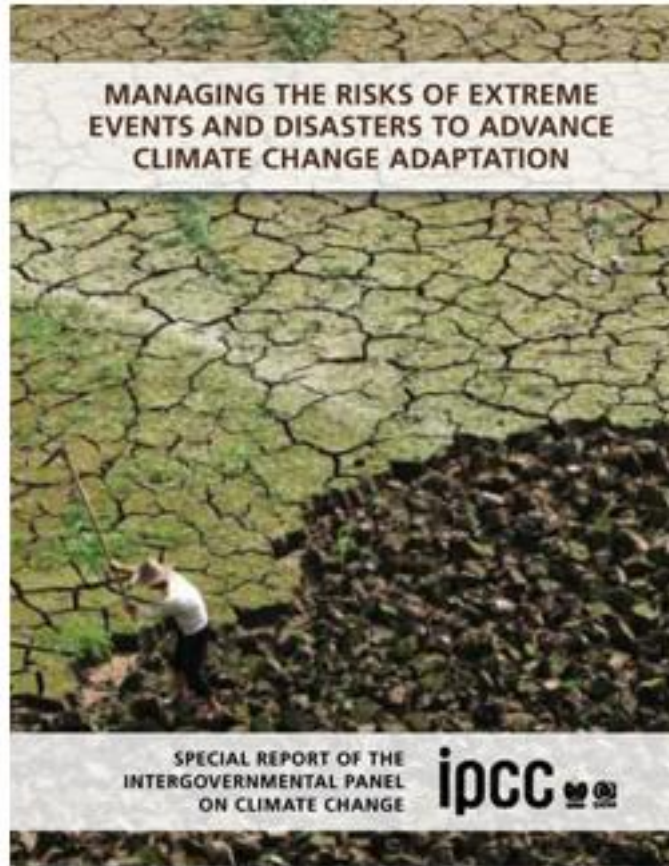
Enjeux scientifiques

- Fréquence et intensité d'extrêmes dans un climat changeant
- Connaissance régionalisée des variations climatiques
- Prédire les cygnes noirs et les tempêtes parfaites
- Détection et attribution d'événements extrêmes
 - E.g. canicules, hiver 2013/2014

Quelques enjeux économiques

- Energie (production, consommation & sûreté)
- Agriculture
- Assurance et re-assurance
- Transports
- Tourisme
- ...

Pour en savoir plus



FULL SREX REPORT



PDF - 594 pages - 31MB

SUMMARY FOR POLICYMAKERS



PDF - 20 pages - 11.8MB

Remerciements

- E. Garnier (U Cambridge & U Caen)
- R. Vautard, B. Quesada, MS Déroche (LSCE)
- S. Parey (EDF)

MERCI DE VOTRE ATTENTION

Soutiens financiers:

- ANR (CHEDAR, SEEN)
- FP7 (E2C2)
- AXA
- ERC (A2C2)

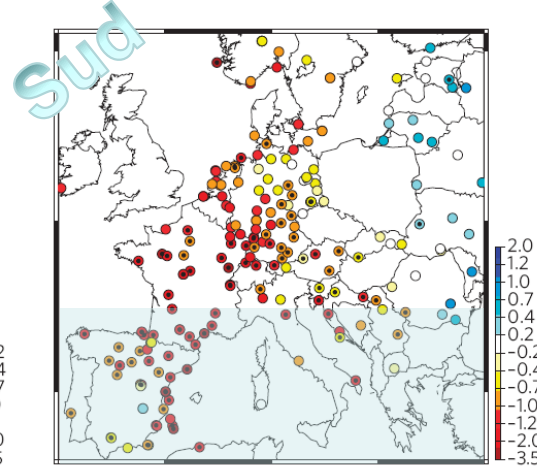
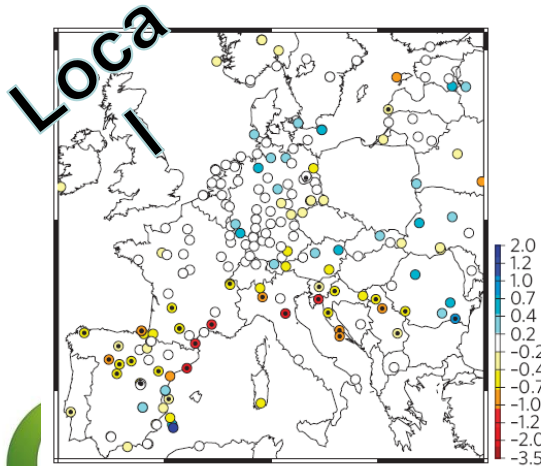
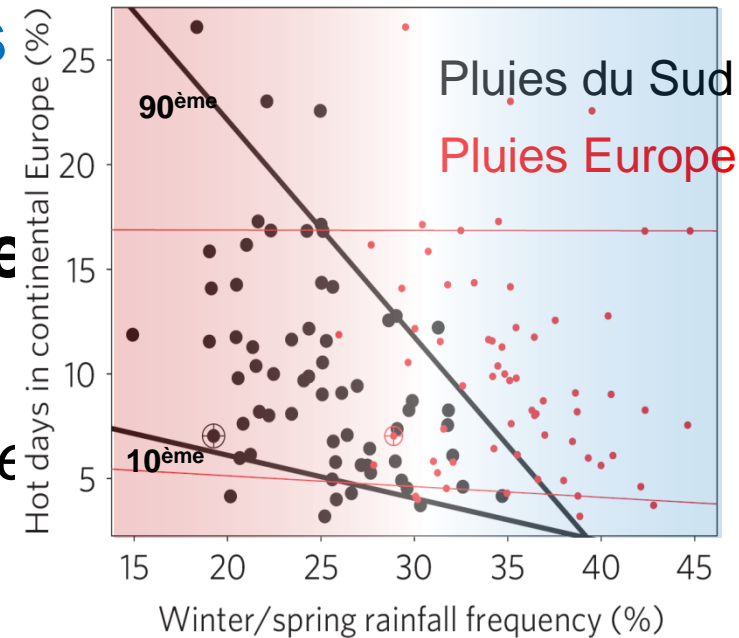
Prévisibilité des canicules estivales

➤ Humide = Peu de jours très

➤ Sec = Imprévisible

Signal de prévisibilité dans le l'Europe

Jours très chauds (%) vs. Fréquence de pluies Janvier-Mai >



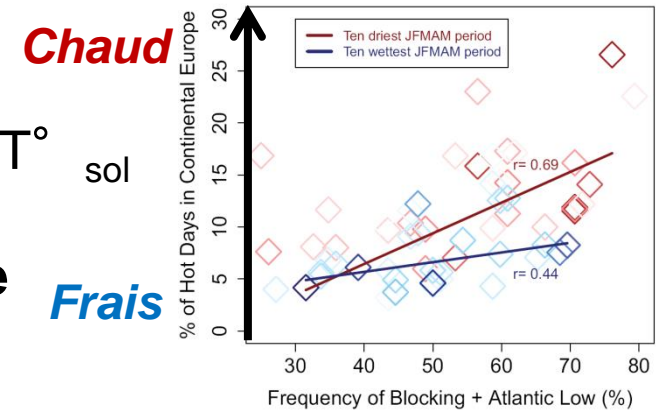
Pente du 90^{ème} quantile :

« degré de sensibilité » des Jours très chauds aux pluies

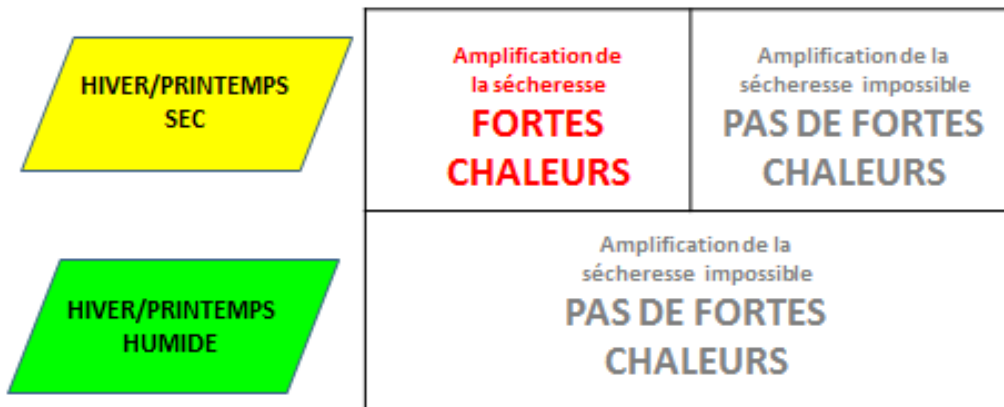
Canicules et circulation atmosphérique

Un effet « tampon » du sol

- Sols **humides**, énergie solaire → évaporation plutôt qu' en augmentation de T°
- Sols **secs**, énergie solaire → ↗ Chauffage du sol, **amplification en forte chaleur estivale possible**

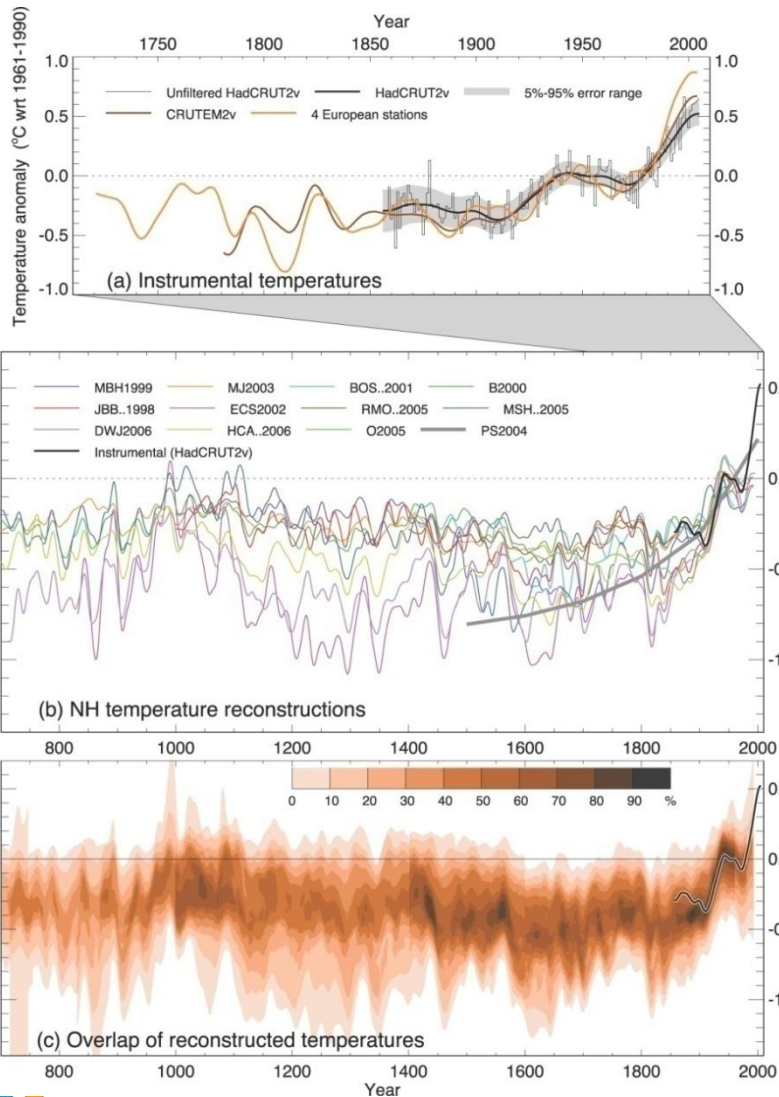


+ de régimes anticycloniques

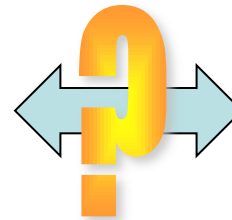


< Schéma idéalisé explicatif de la sensibilité conditionnelle des chaleurs estivales

Démêler les spaghettis



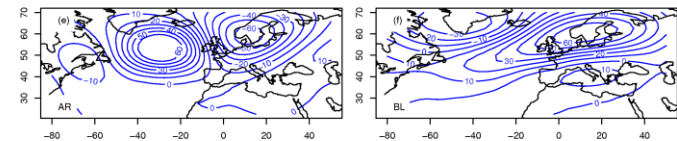
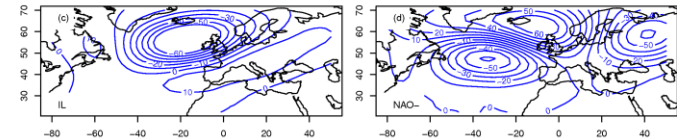
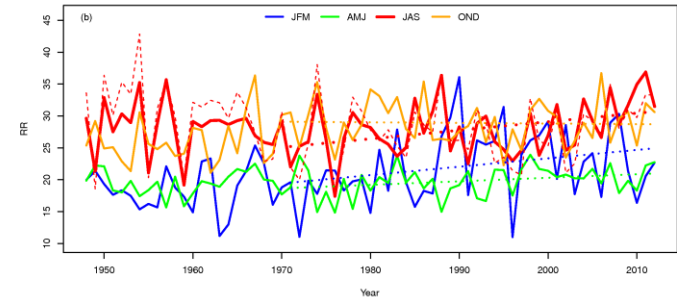
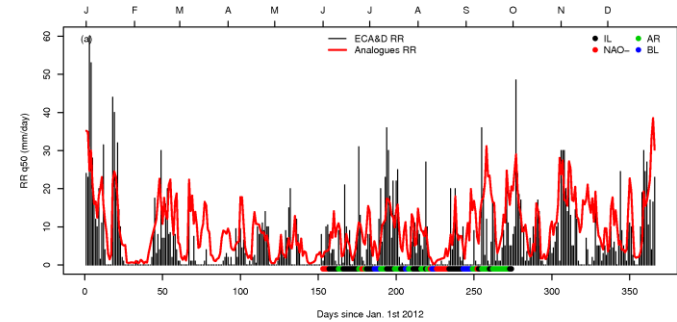
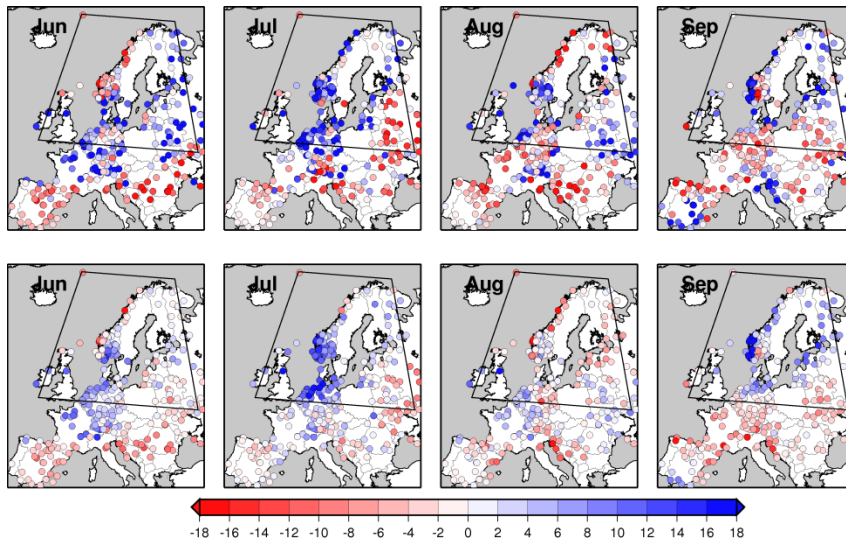
Ex voto inondation Rhône 1840



Quatrième Rapport IPCC, 2007

Analyse des étés humides

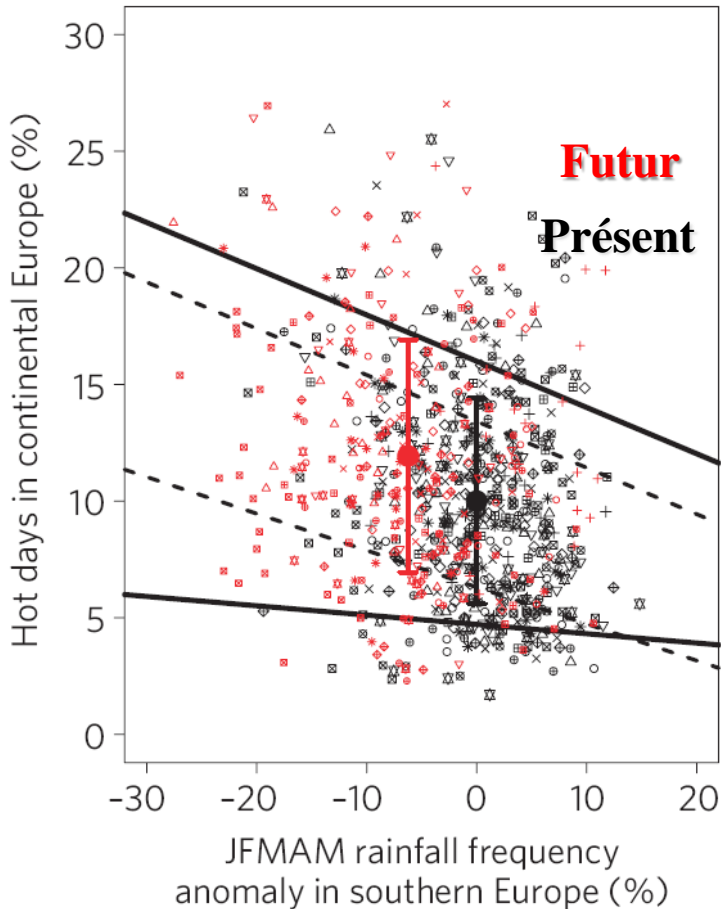
Précipitations en Europe (été 2012)



Empreinte de tempête

- Carte de la vitesse “gust” maximale pendant la durée de la l'événement
- Vitesses de vent beaucoup plus grandes sur l'océan que sur terre
 - Effet de l'orographie (obstacles au vent)
- Structure allant rarement au-delà de l'Allemagne

Prédictabilité des canicules en 2050



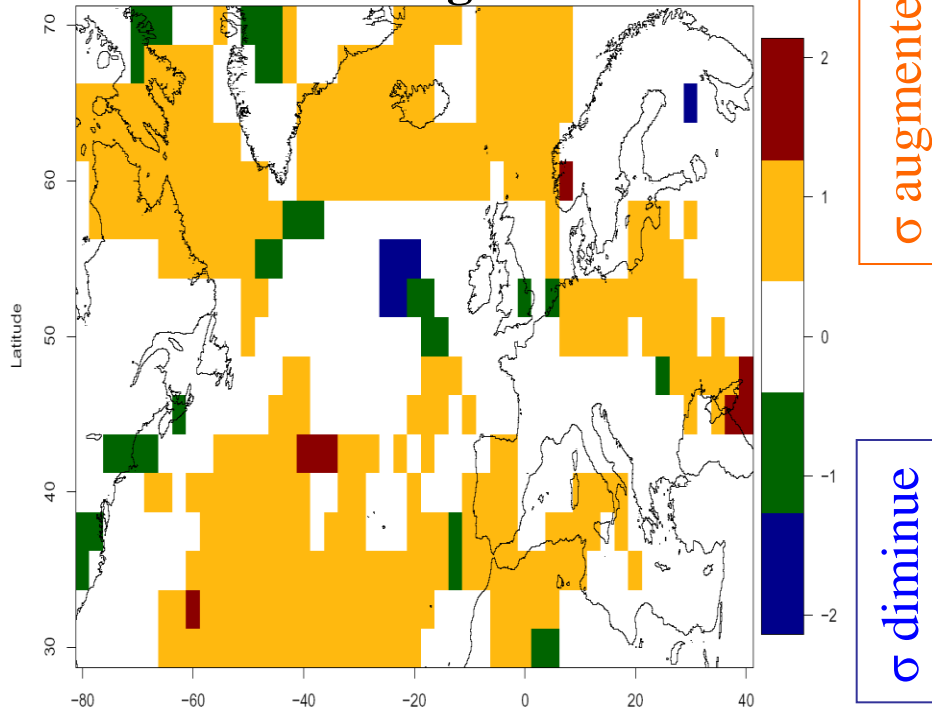
- Assèchement du Sud ,
vagues de chaleurs estivales
+ fréquentes mais : moins de situations à fort potentiel de prévisibilité
- Les modèles suggèrent un
assèchement et des chaleurs
estivales plus marquées

○ cccma_cgcm3_1 * giss_model_e_r × csiro_mk3_5 • miroc3_2_medres
△ cnrm_cm3 * ingv_echam4 ◇ gfdl_cm2_0 × miub_echo_g
+ csiro_mk3_0 ◆ ipsl_cm4 ▽ gfdl_cm2_1 ■ mpi_echam5
■ mri_cgcm2_3_2a

Vagues de Chaleur en Europe

Détection des tendances (modèles statistiques)

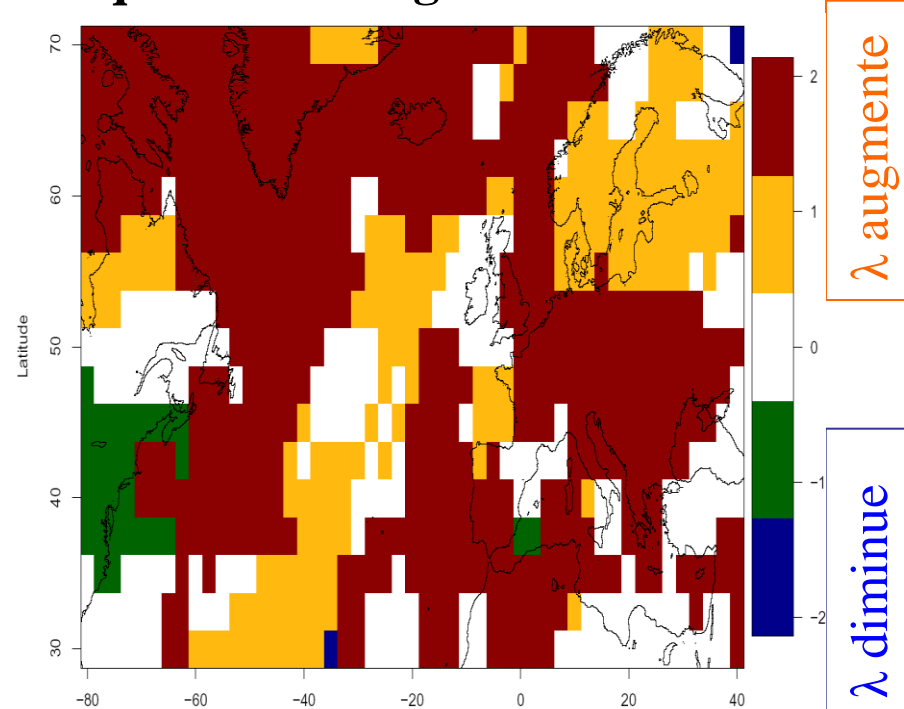
Intensité des vagues de chaleur σ



σ augmente

σ diminue

Fréquence des vagues de chaleur λ



λ augmente

λ diminue

(Nogaj et al., Geophys. Res. Lett., 2006)