



Royaume du Maroc

**Ministère des Energies, des Mines, de l'Eau et de
l'Environnement**

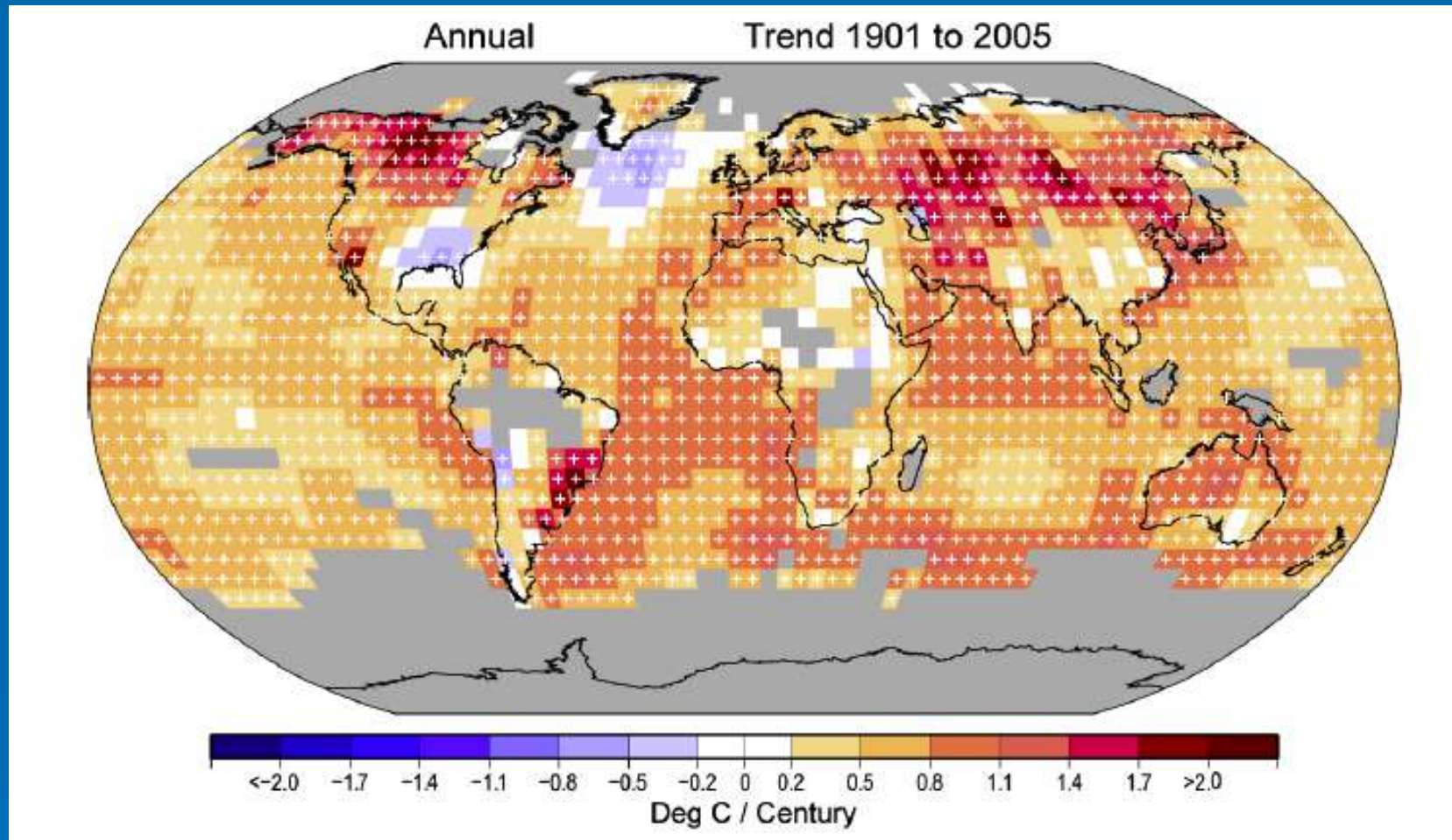
Impacts des changements climatiques au Maroc

Abdalah MOKSSIT

Directeur de la Météorologie Nationale

IRES-Rabat le 20-04-2012

Constat: Le monde s'est réchauffé, events extrêmes non conventionnels: **Canicule Europe 2003** **Cyclone Katarina**



En moyenne globale, la planète est environ 0.75°C plus chaude qu'elle ne l'était en 1860 (basé sur de longues séries temporelles, de haute qualité, de mesures de températures continentales et océaniques).

11 des 12 dernières années sont, en moyenne globale, parmi les plus chaudes depuis 1860.

DES PHENOMENES EXTREMES DE PLUS EN PLUS FREQUENTS

تطوان 2000



اوریکا 2005



مرزوكا 2006



المحمدية 2002



الرباط 2009



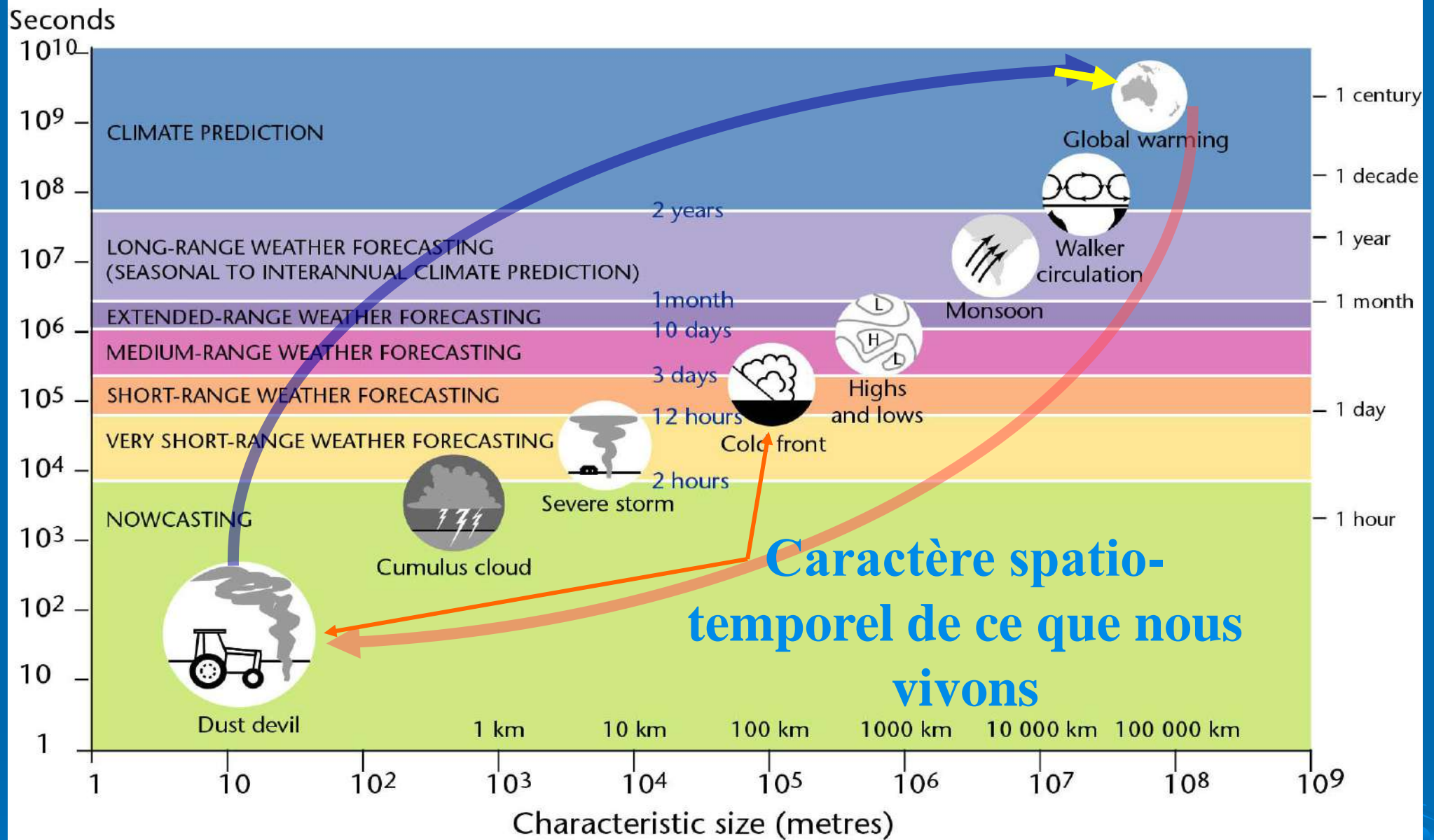
دار الدريوش 2008



DES PHENOMENES EXTREMES DE PLUS EN PLUS FREQUENTS



Casablanca 29-30 Novembre 2010



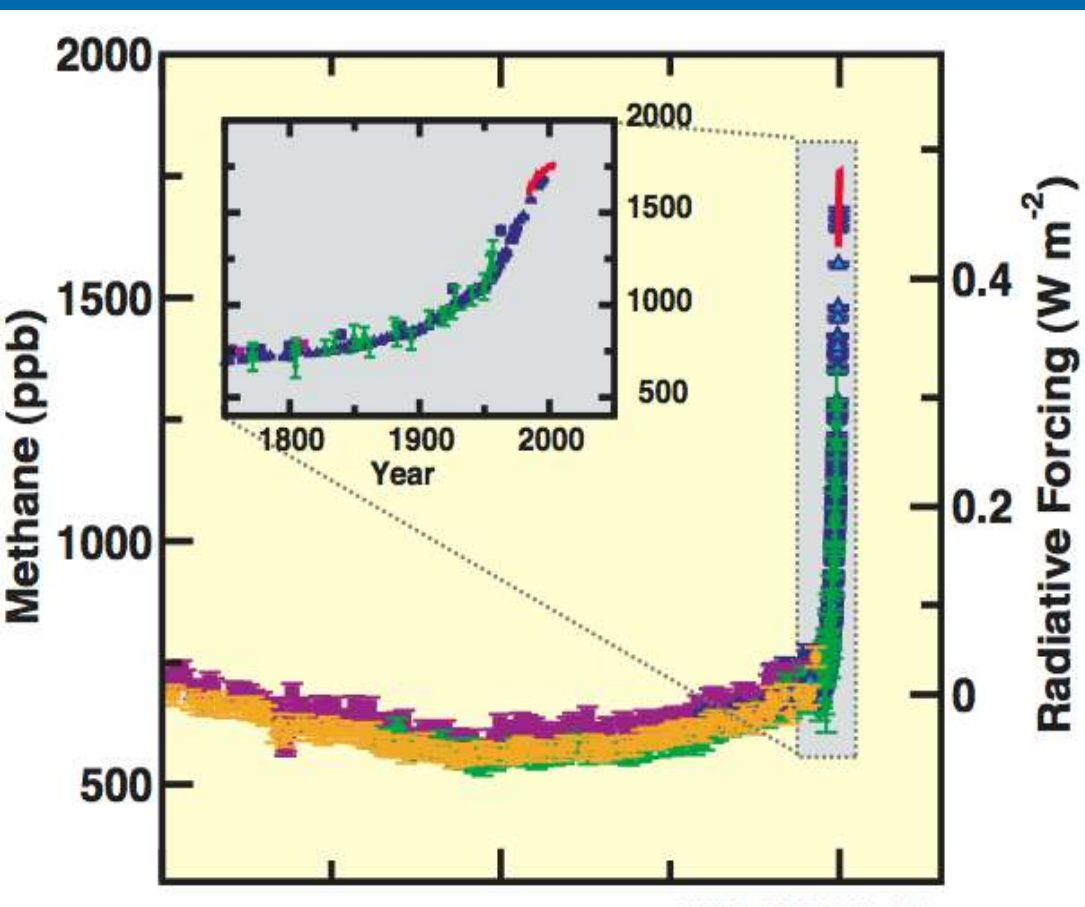
Climate is traditionally viewed as the integration of discrete weather events and variables over time and space

The corollary is that: the components of climate change should be manifest on all time and space scales

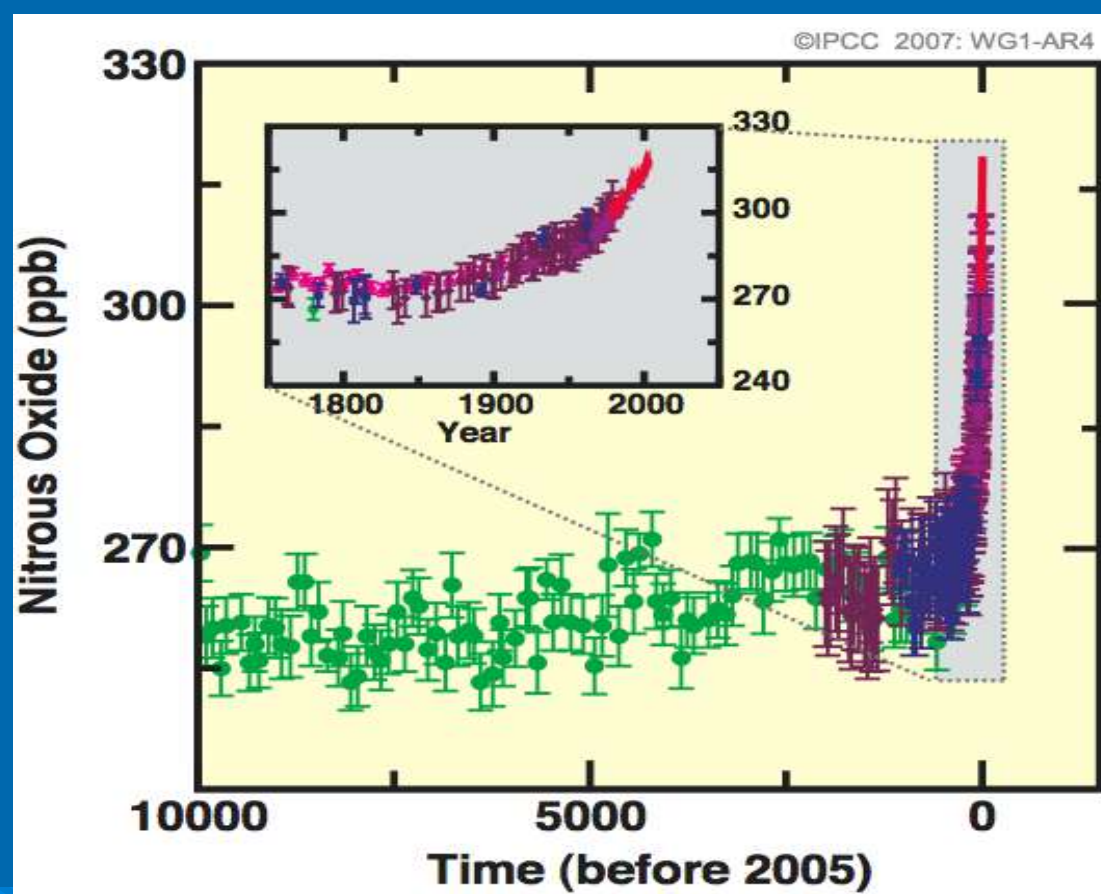
Atmosphère et révolution Industrielle

Les concentrations actuelles des principaux gaz à effet de serre et leur taux de croissance sont sans précédent.

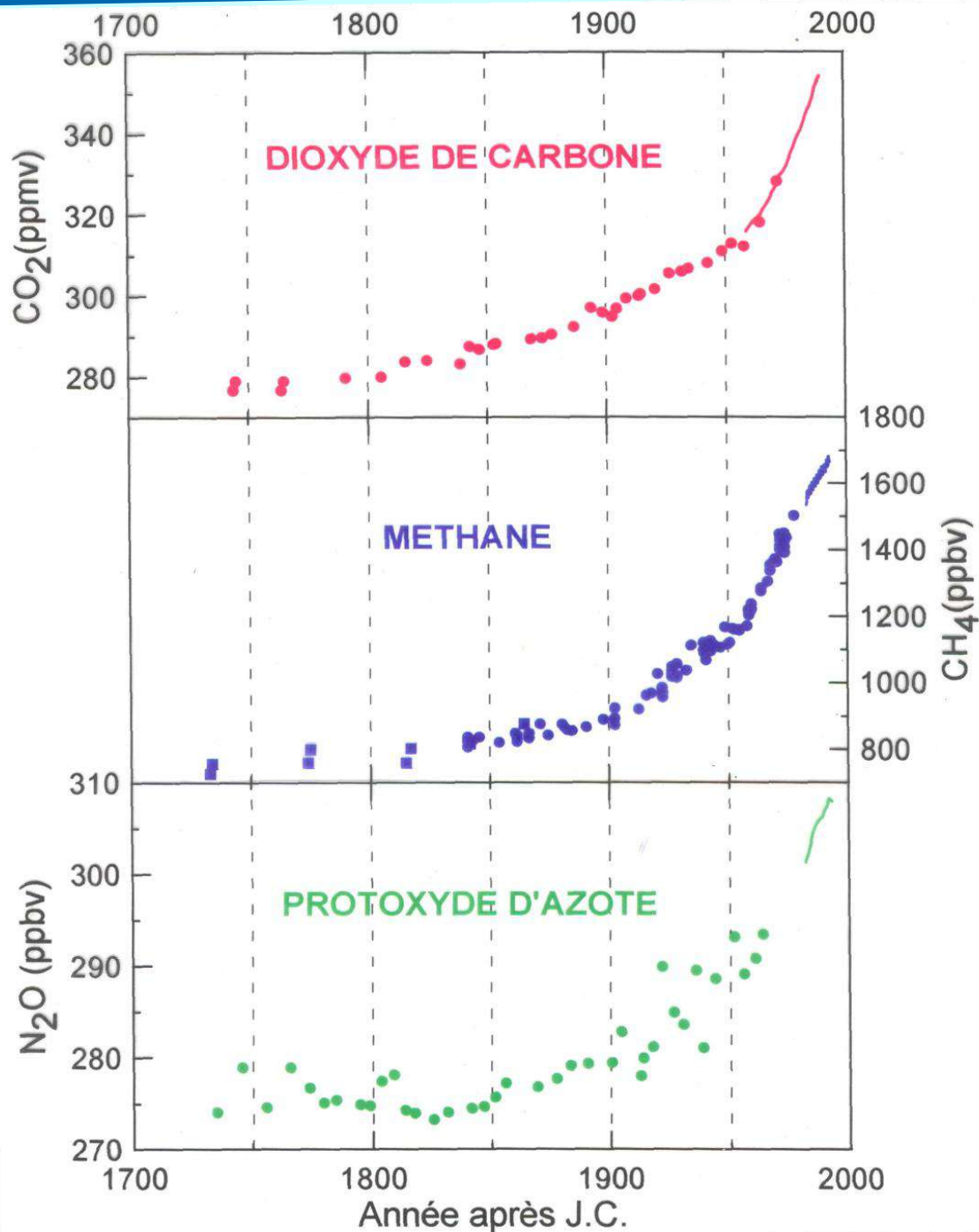
En effet, en 2005 leur charge en équivalent CO₂ dans l'atmosphère a atteint plus **28 Giga Tonnes** alors qu'elle était faible avant l'ère industrielle.



Méthane



Oxyde Nitreux



Les activités humaines modifient La composition de l'atmosphère

- en gaz à effet de serre
- Gaz carbonique 30%
 - Méthane multiplié par 2
 - Oxydes d'azote + 15%

Gaz carbonique : CO₂

- 6,4 GtC/an (années 1990)
- Pétrole
- Charbon
- Gaz naturel
- Cimenteries (3%)
- Puits : Océans (1,7 GtC/an)
- Végétation (1,7 GtC/an)

Méthane : CH₄

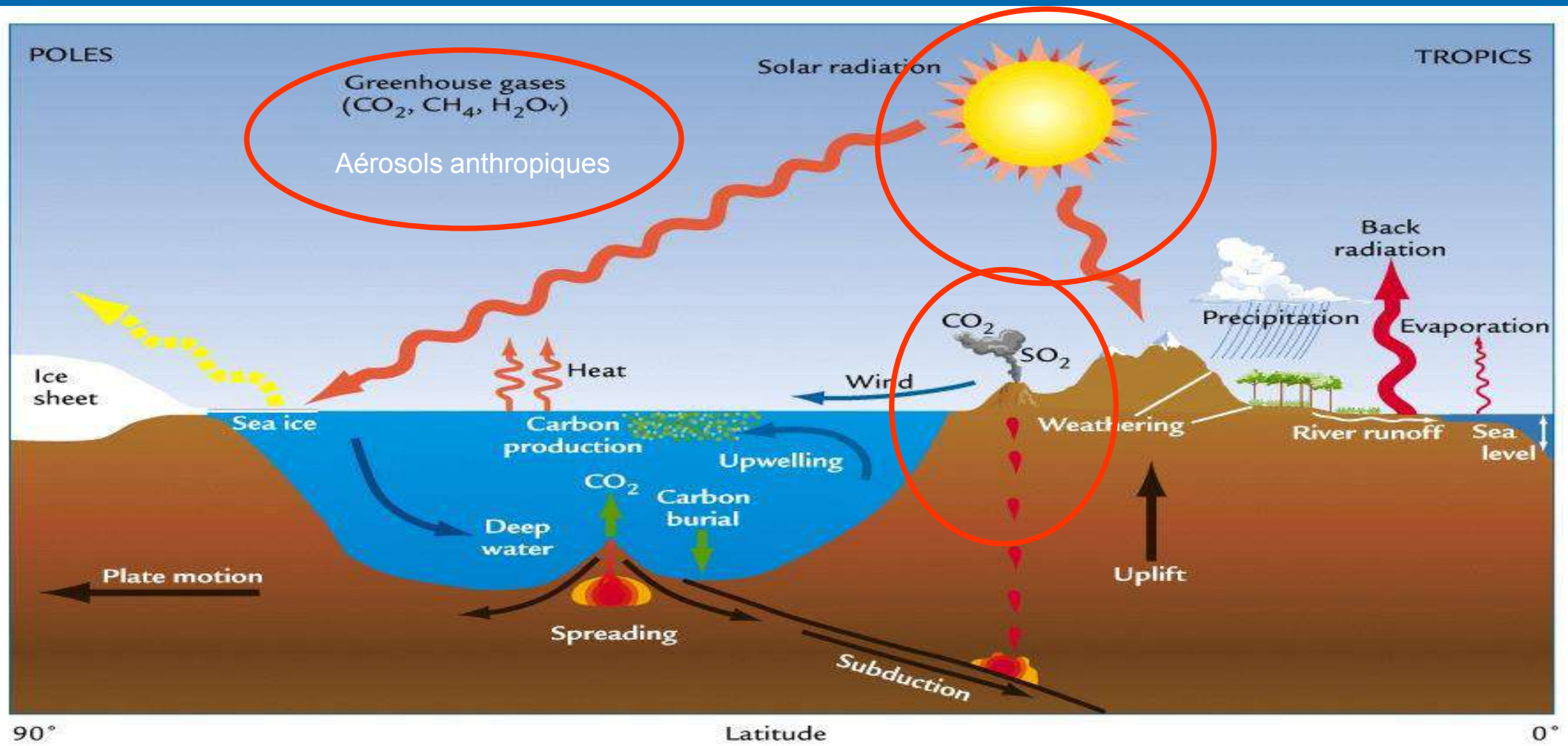
- Emissions naturelles (marais)
- Hydrocarbures
- Agriculture
- Décharges

Oxyde Nitreux

- Emissions naturelles
- Agriculture, élevage, biomasse
- Activités industrielles

HFC, PFC, SF₆, Ozone ...

La variabilité climatique est liée aux variations des forçages externes, incluant l'intensité du rayonnement solaire, des aérosols volcaniques et les concentrations des gaz à effet de serre et aérosols



CAUSES
(external forcing)

CLIMATE SYSTEM
(internal interactions)

CLIMATE VARIATIONS
(internal responses)

Changes in
plate tectonics

Changes in



FAR



"Swamp" Ocean



SAR



Volcanic Activity

Sulphates



Ocean



TAR



Carbon Cycle

Aerosols



Rivers Overturning Circulation



AR4

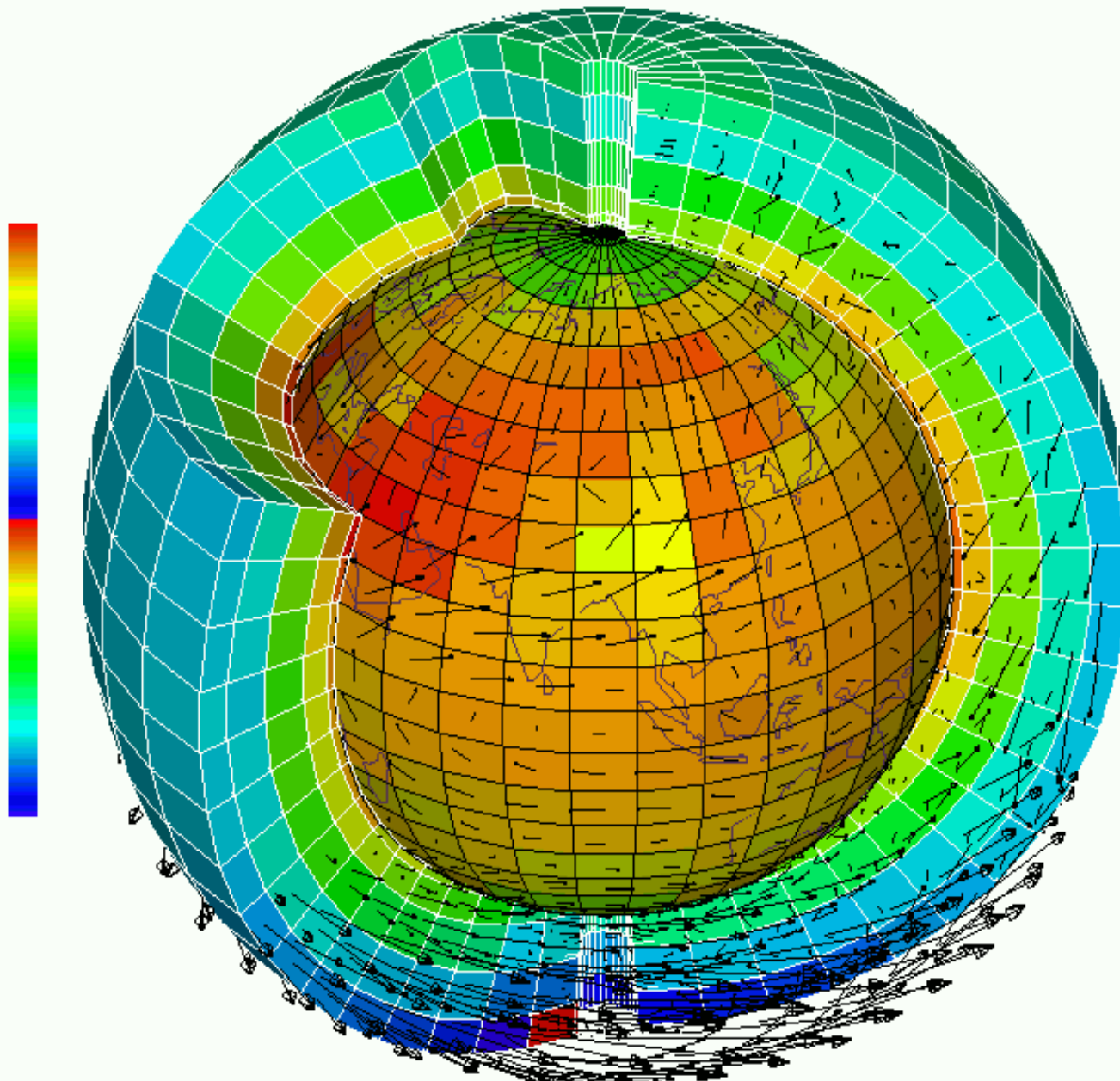


Chemistry



Interactive Vegetation

La simulation du passé ainsi que les projections/scénarios futures se basent sur la modélisation partant du présent et donnant le futur

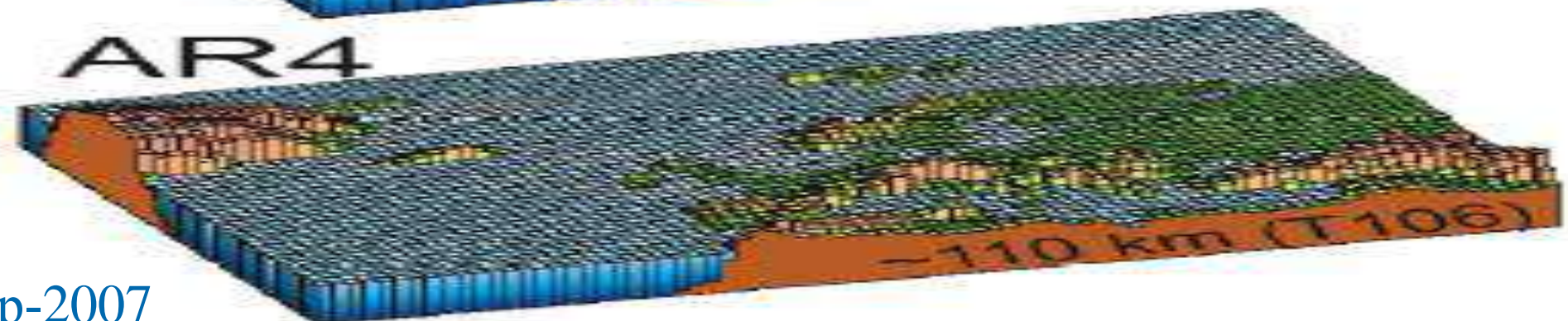
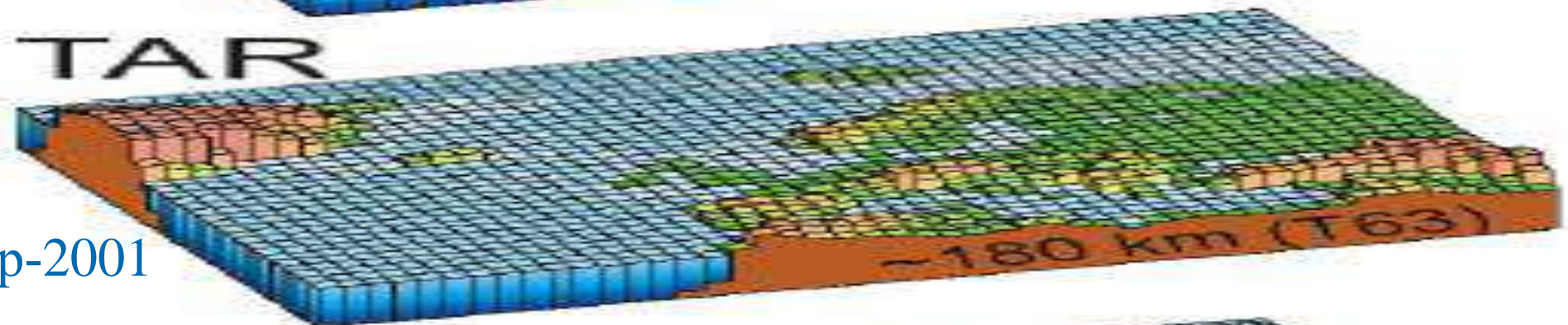
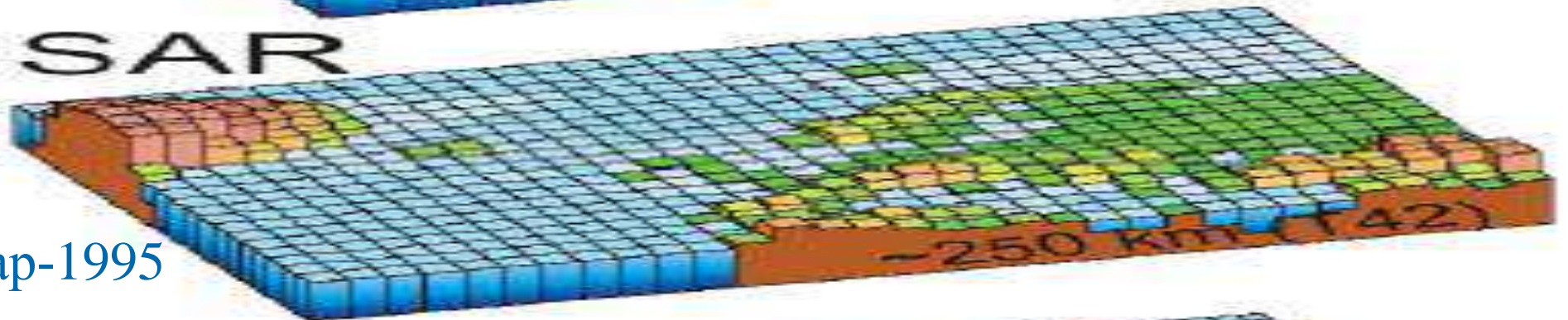
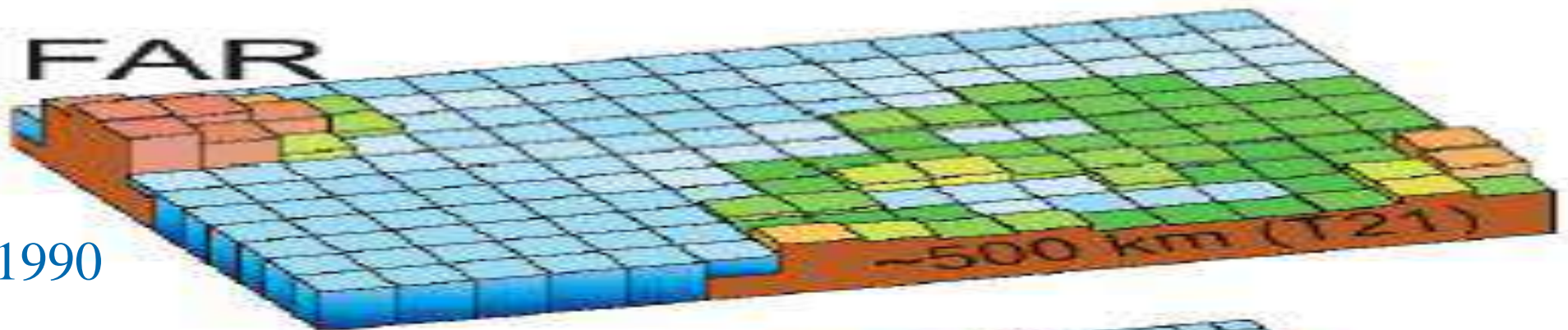


Planète numérique

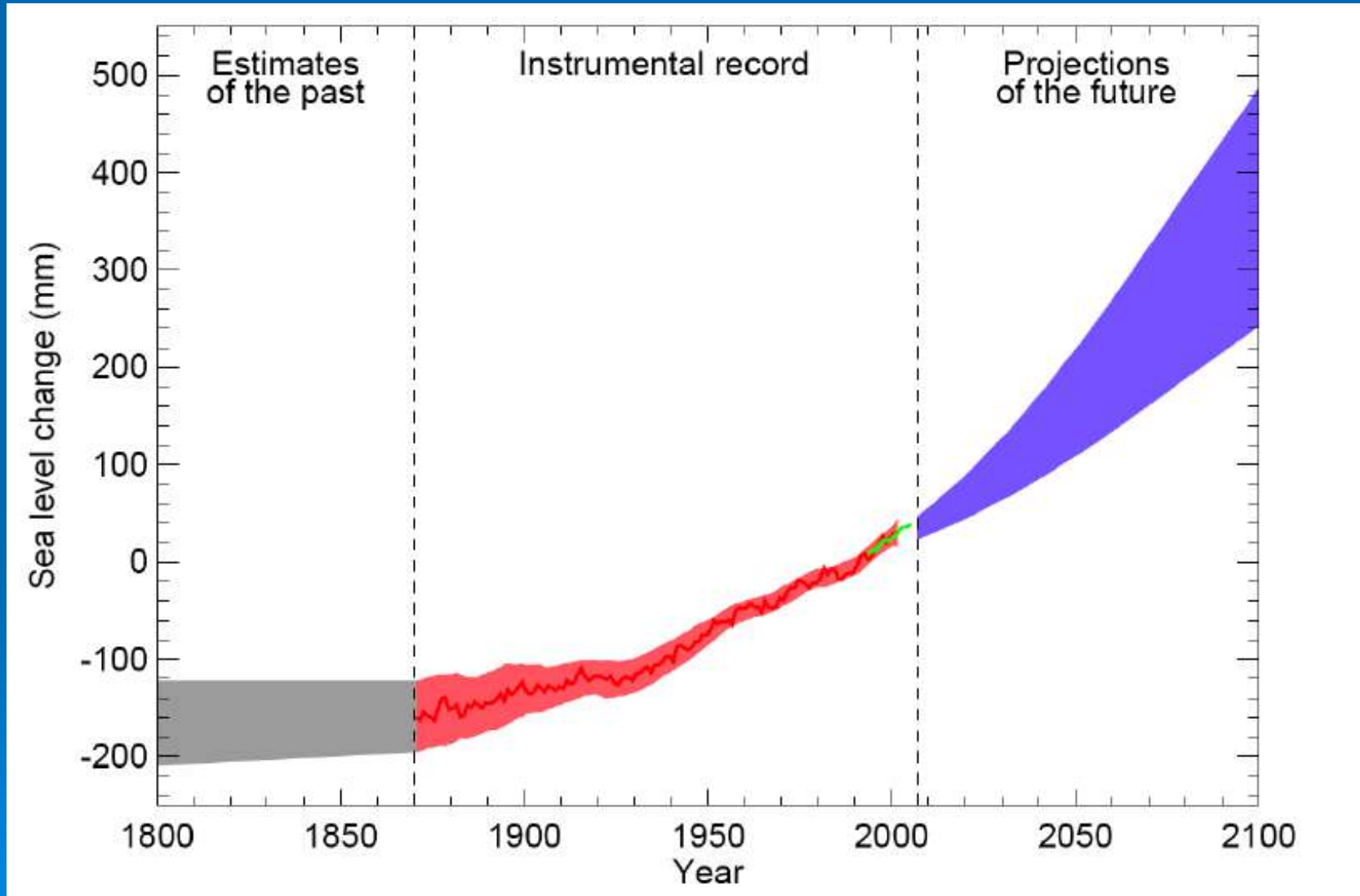
Systeme d'éq Mec Fluides:
Etat futur= Fonc(Etat initial)

Source: L. Fairhead, LMD/IPSL

Résolution spatiale des modèles utilisés dans les rapports du GIEC



Seuls les modèles qui ont démontré la capacité de reproduire le passé-obs instrumentales sont retenus

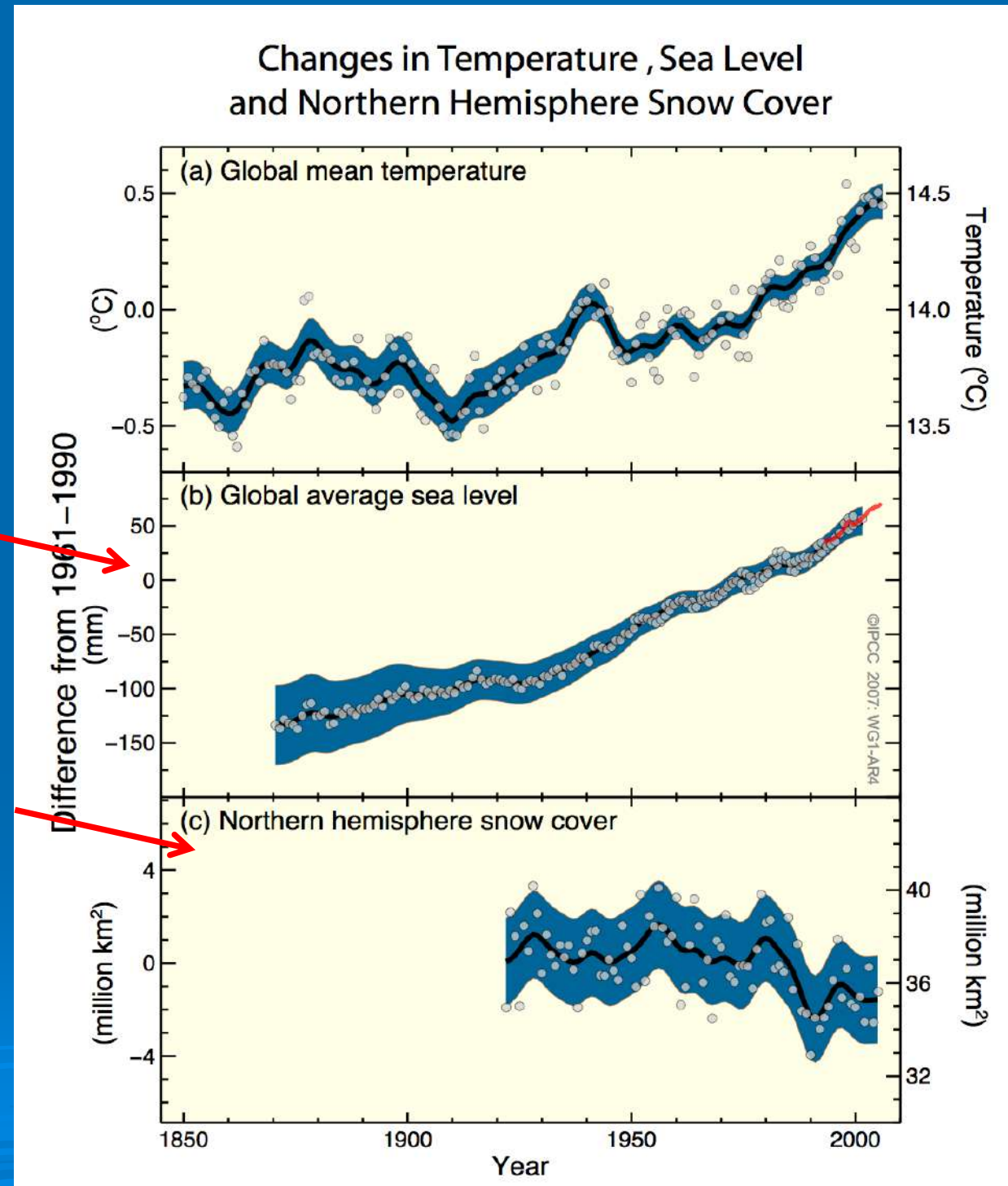


Le réchauffement est sans équivoque

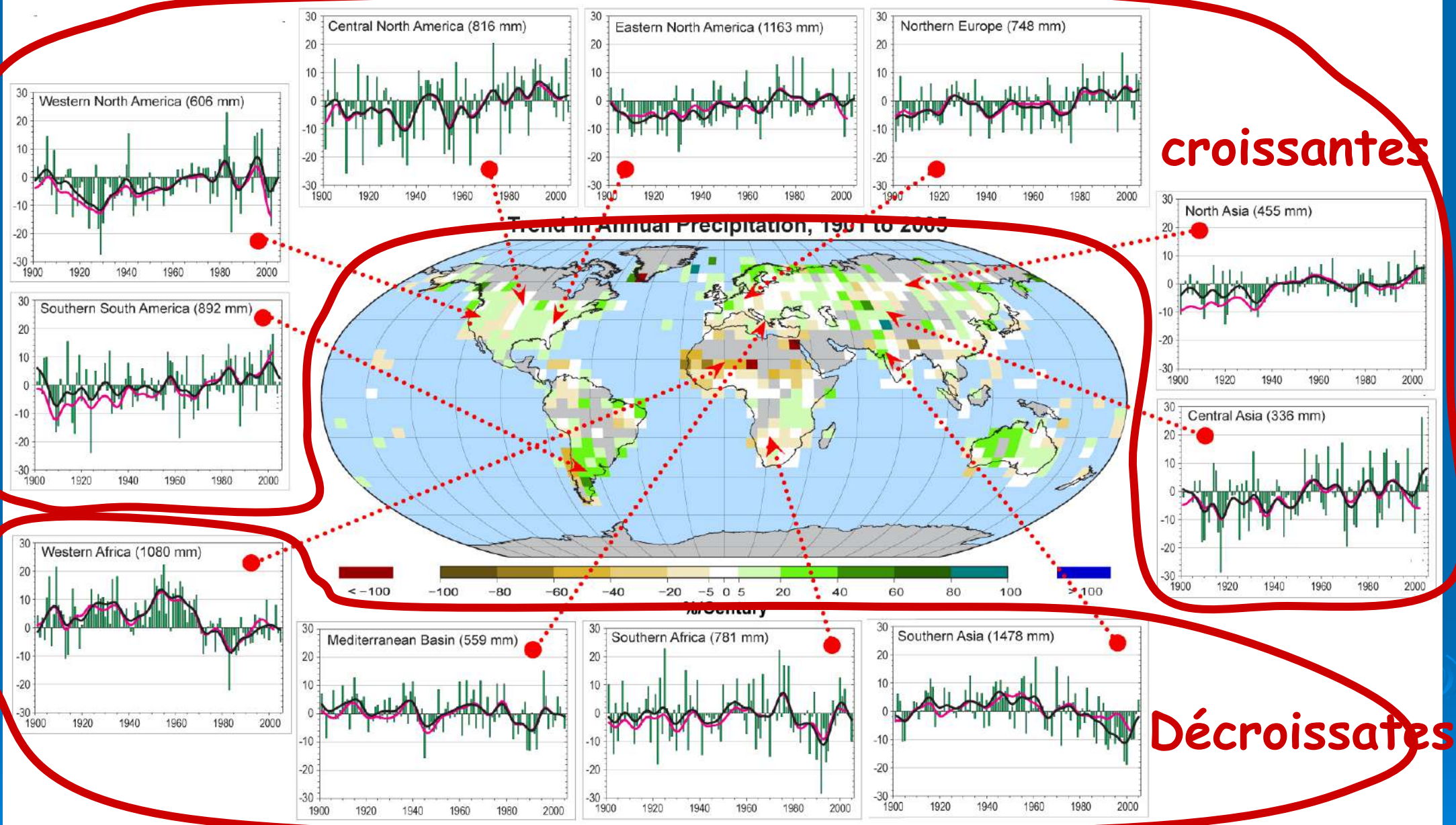
Température atmosphérique croissante

Elévation du niveau des mers

Réduction de la couverture neigeuse (NH)
Et dans l'océan..

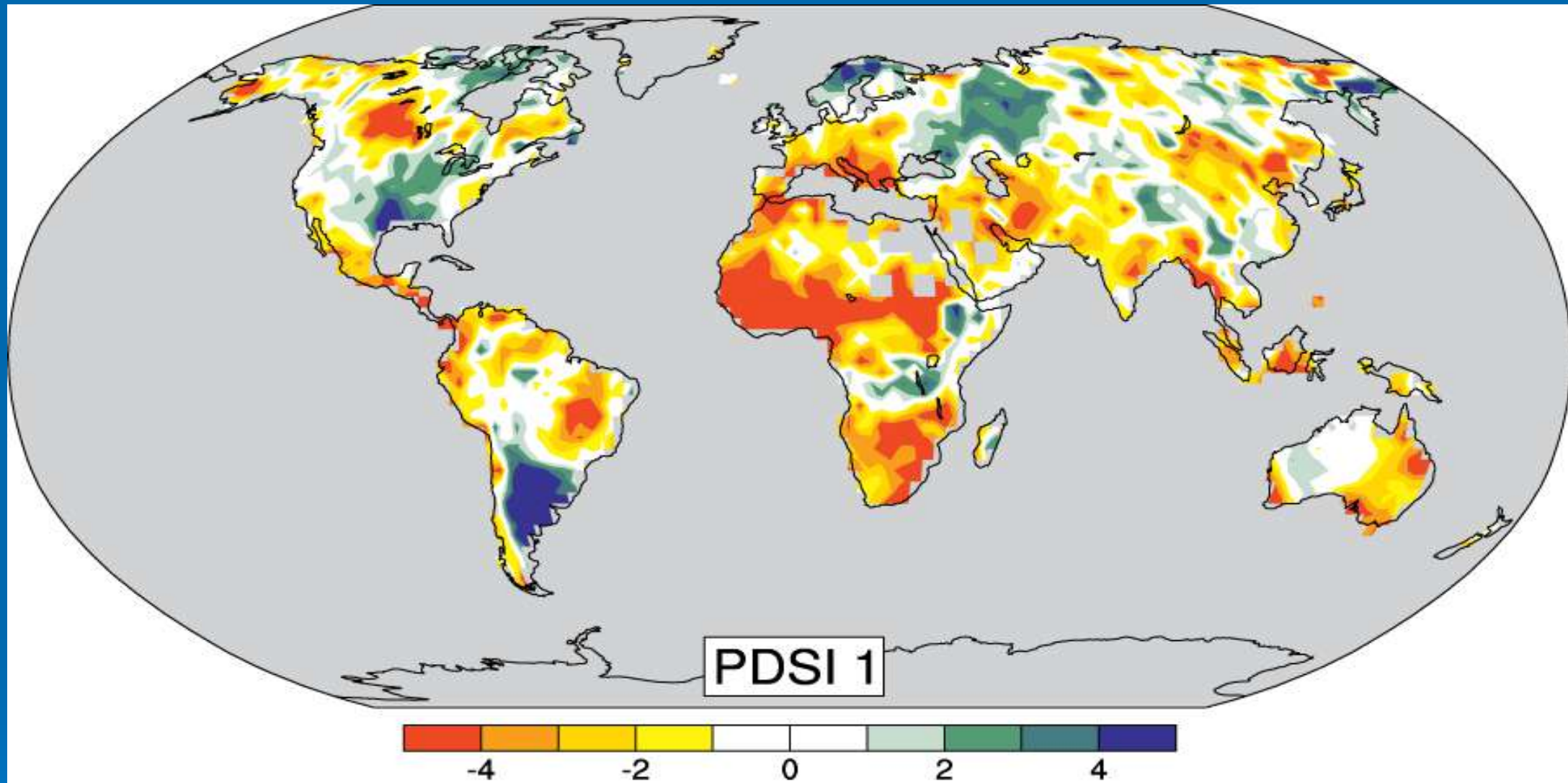


Précipitation continentale change significativement sur de grandes régions



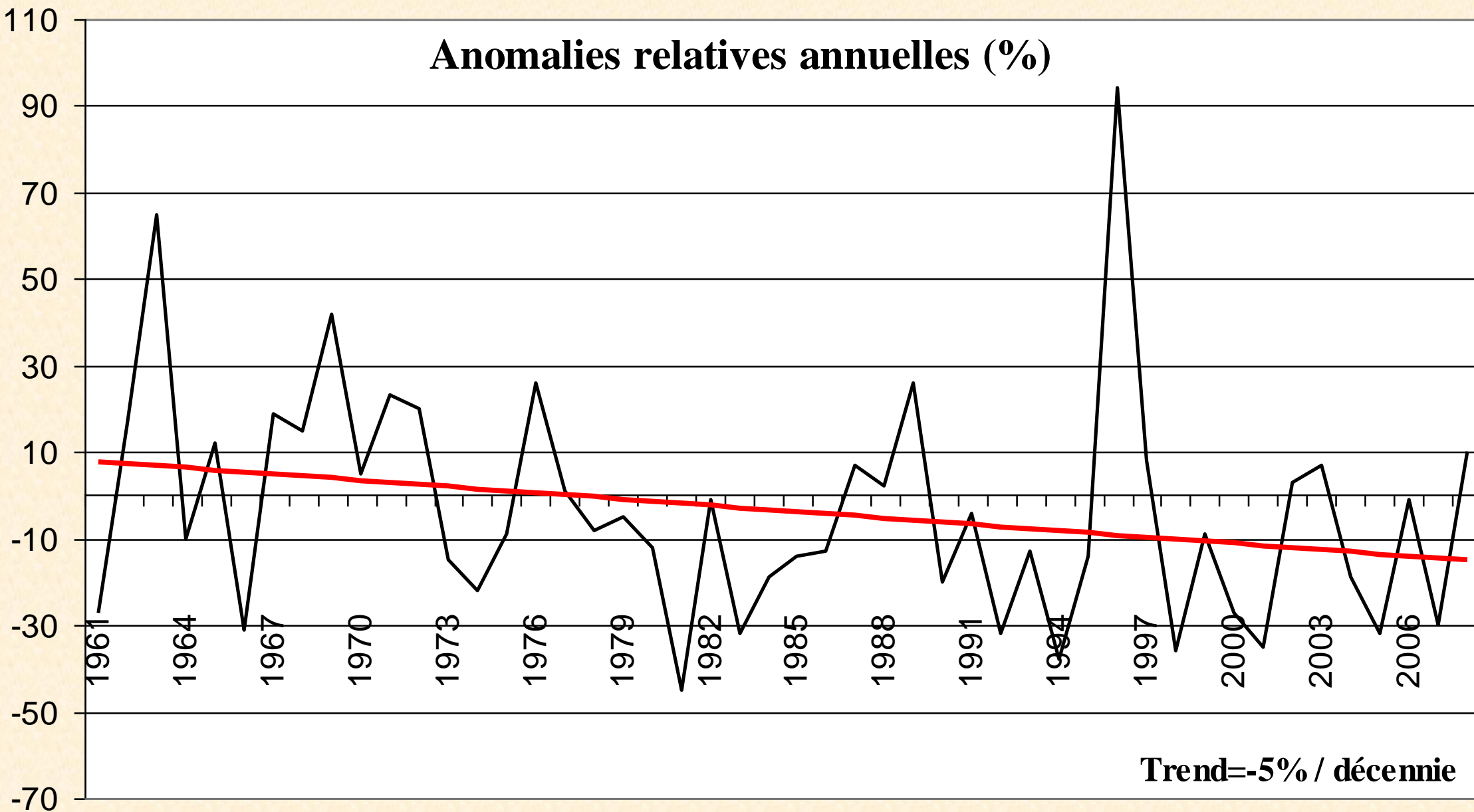
Anomalies lissées des précipitations annuelles (%) sur les continents de 1900 à 2005. Les autres régions sont dominées par la variabilité.

Drought is increasing most places



The most important spatial pattern of the monthly Palmer Drought Severity Index (PDSI) for 1900 to 2002.

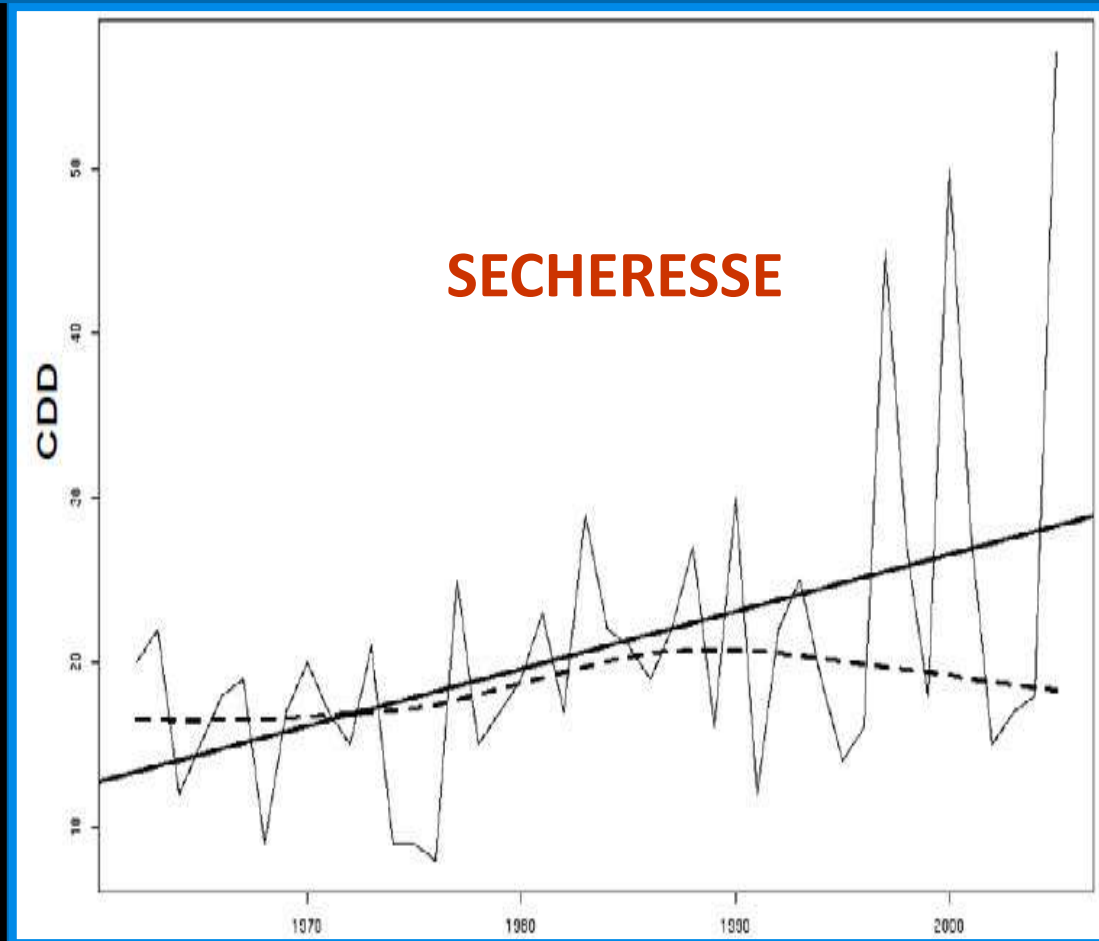
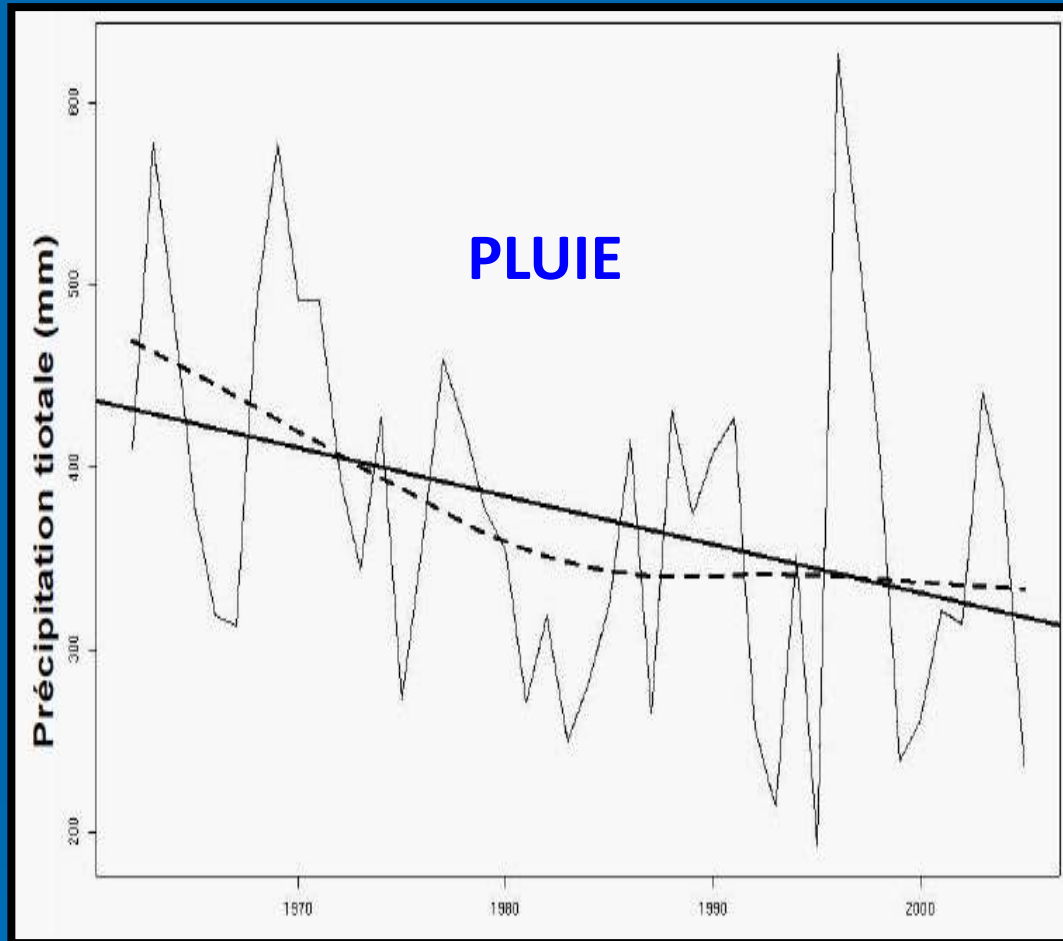
Anomalies relatives annuelles (%)



Moyennes des anomalies relatives des cumuls pluviométriques annuels.

Tendances du changement climatique récent au Maroc

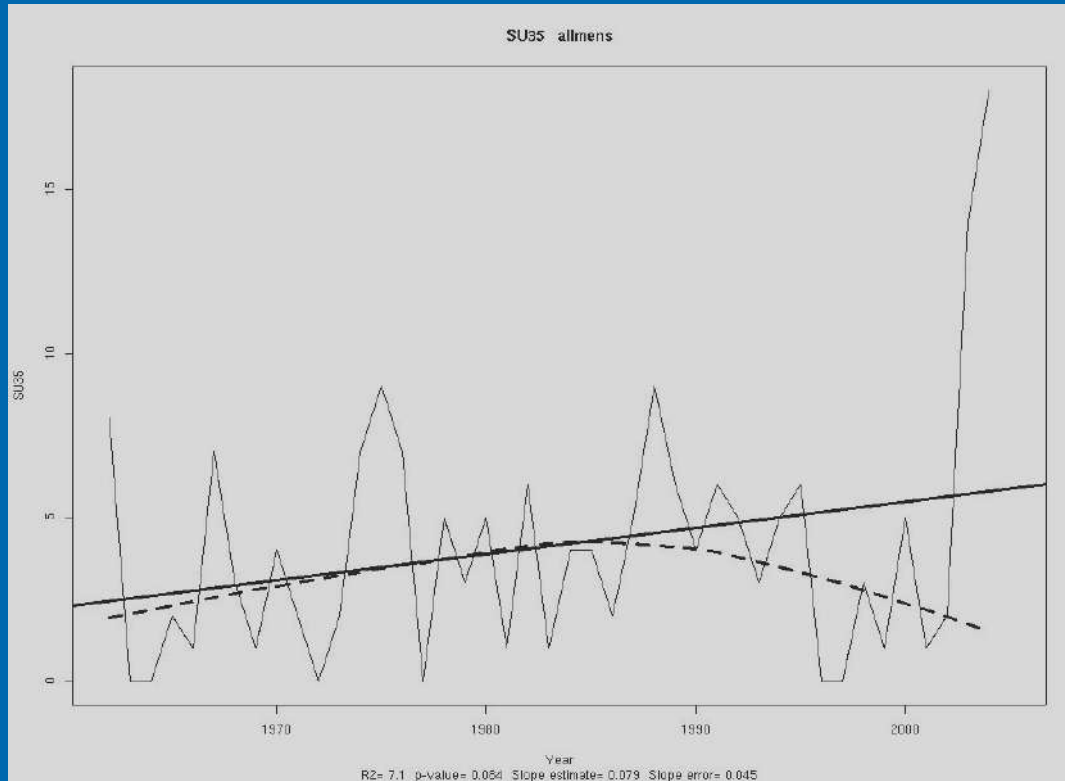
Précipitations et sécheresse (1955-2004)



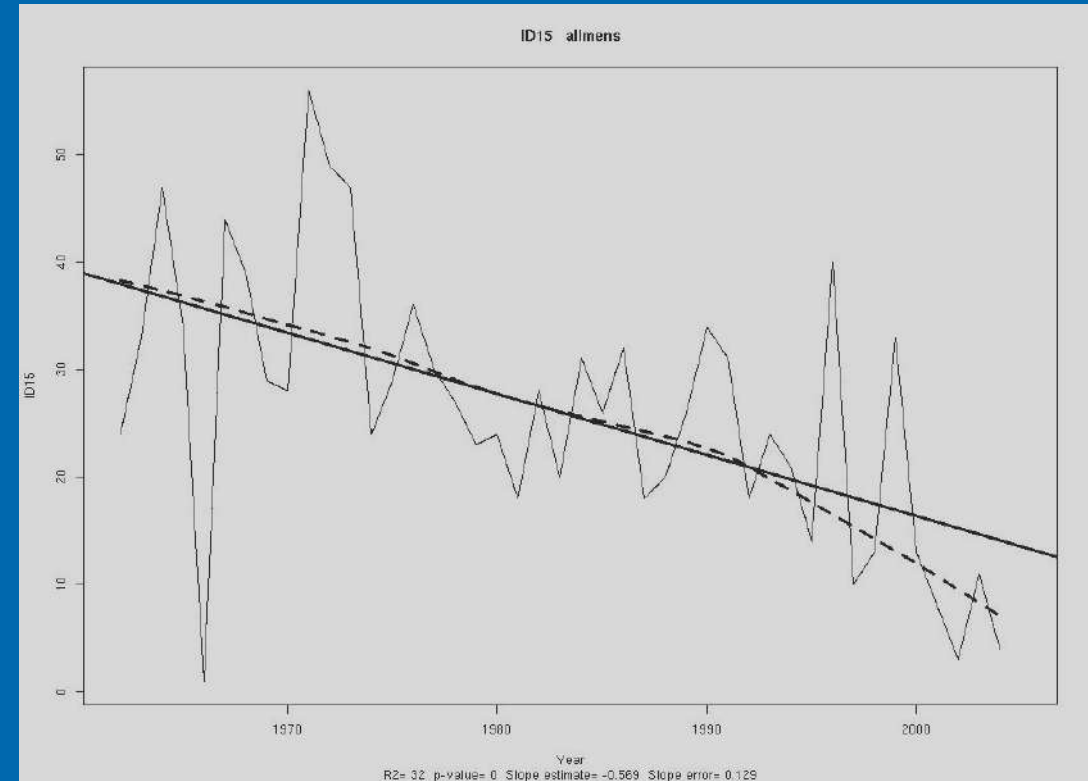
Précipitations moyennes
cumulées sur la saison
pluvieuse (1955- 2004)
(DMN, 2009)

Durée maximale de sécheresse de
1955 à 2004 (DMN, 2009).
(CDD : Nombre maximal consécutifs
de sécheresse où $P < 1$ mm)

Évolutions et Tendances observées indices de CC



Total annuel de jours chauds (Maroc)

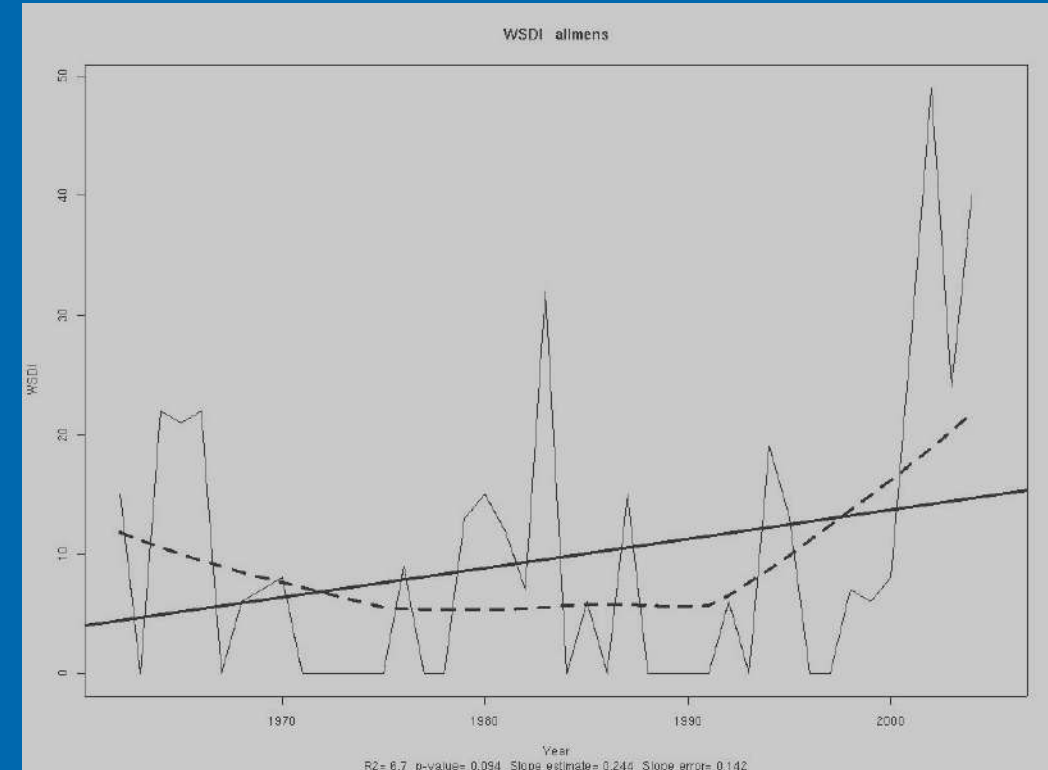
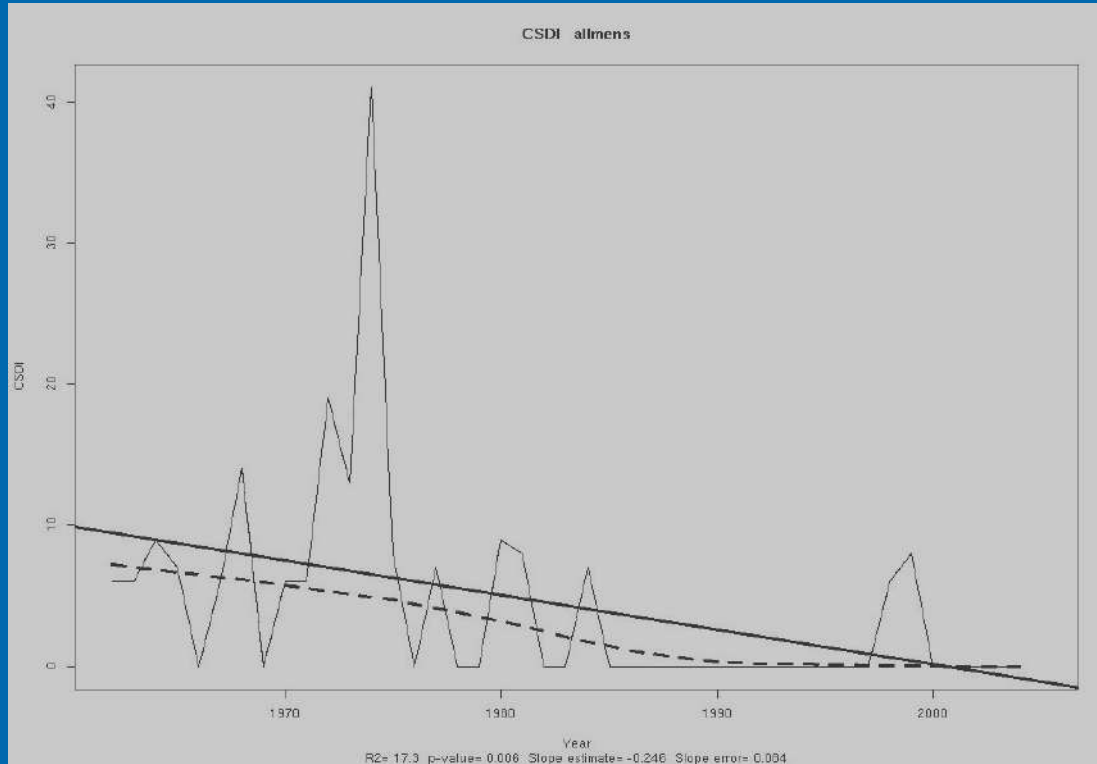


Total annuel de jours frais (Maroc)

→ Jours frais: Nette tendance à la baisse à l'échelle nationale diminution de l'ordre 25 jours en 45 ans

→ Jours chauds: Tendances positives mais relativement faibles

Évolutions et Tendances observées indices de CC



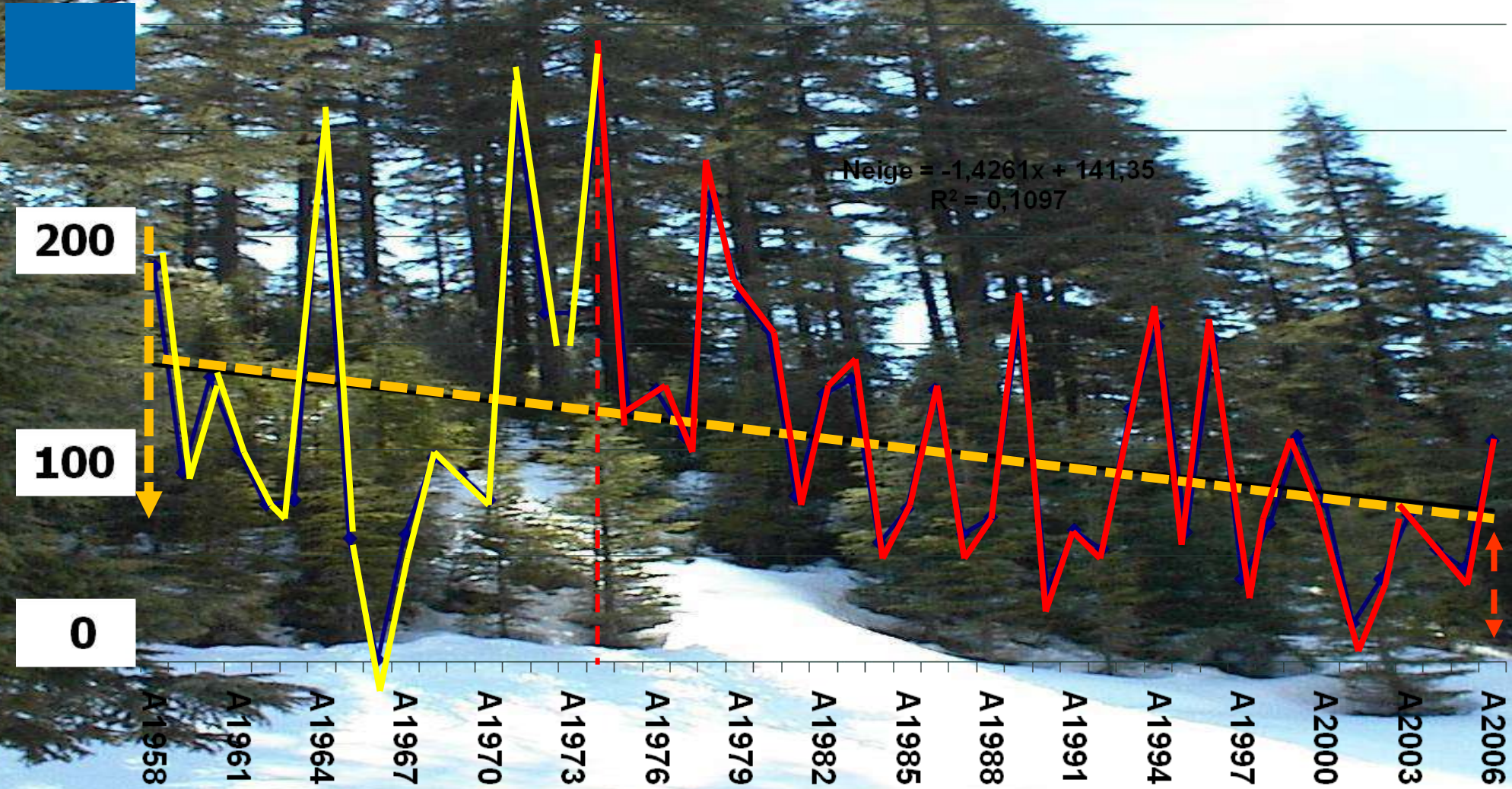
Vagues de froid (Maroc) en nbjours/an

Vagues de chaleur (Maroc)

- Vagues de froid: Tendances à la baisse significatives de **-0.246 j/an** pour le Maroc; i.e diminution de 11 jours en 45 ans
- Vagues de chaleur: Tendances à la hausse de même ordre de grandeur que les vagues de froid
- Tendances positives pour la saison pluvieuse (allongement)
- Mais importantes et significatives en fin de saison pluvieuse où en 45 ans: allongement de 15 jours

Tendances de la neige : Cas du cèdre au Moyen Atlas

Evolution des précipitations neigeuses en (cm) au niveau d'Ifrane



Évolution des précipitations neigeuses en cm à Ifrane (1958-2006)

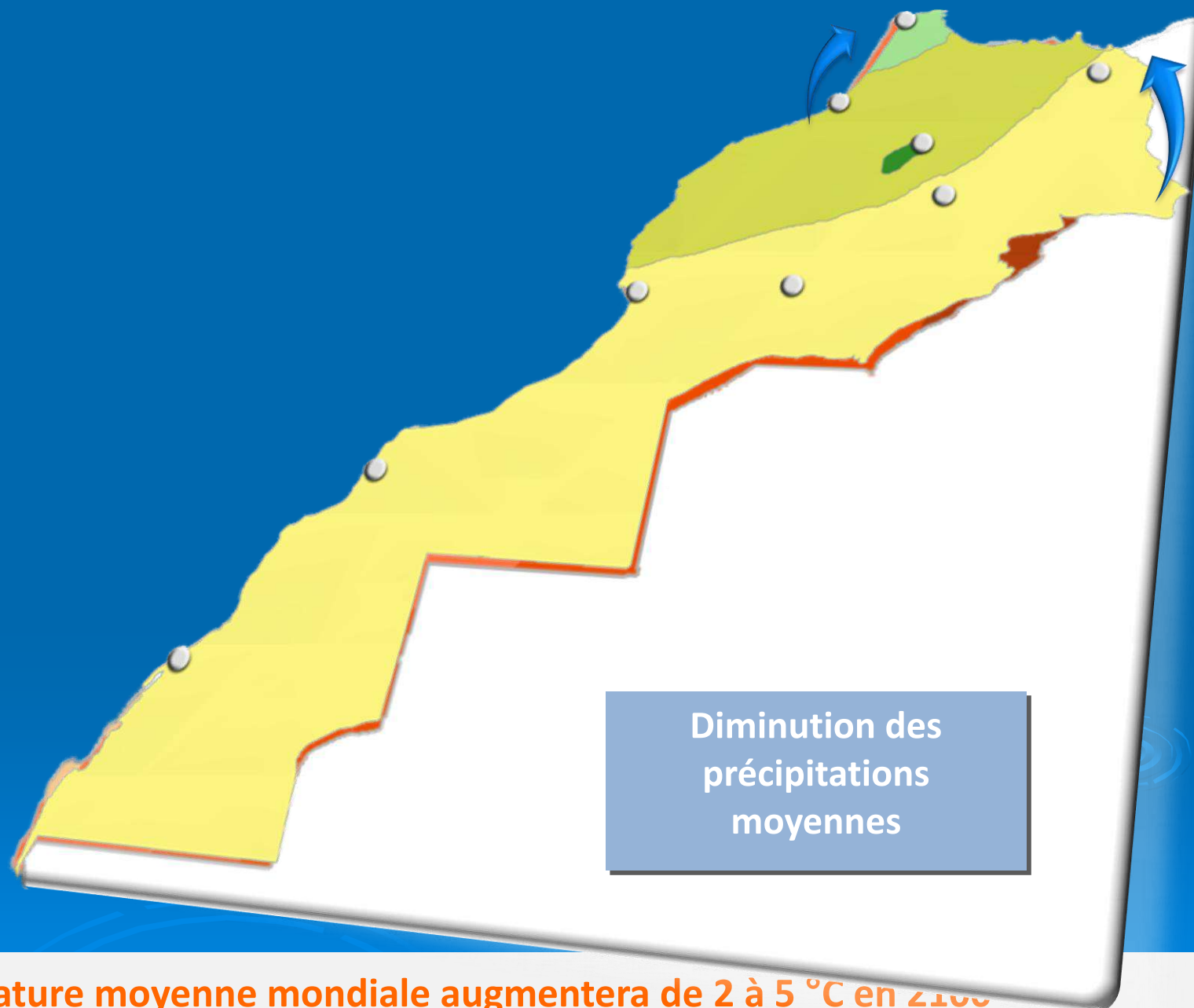
Changement climatique: Évolution des bioclimats

1961 - 1985

1986 - 2005

Indice de De Martonne
[$I = P/(T+10)$]

Climat



▪ La température moyenne mondiale augmentera de 2 à 5 °C en 2100

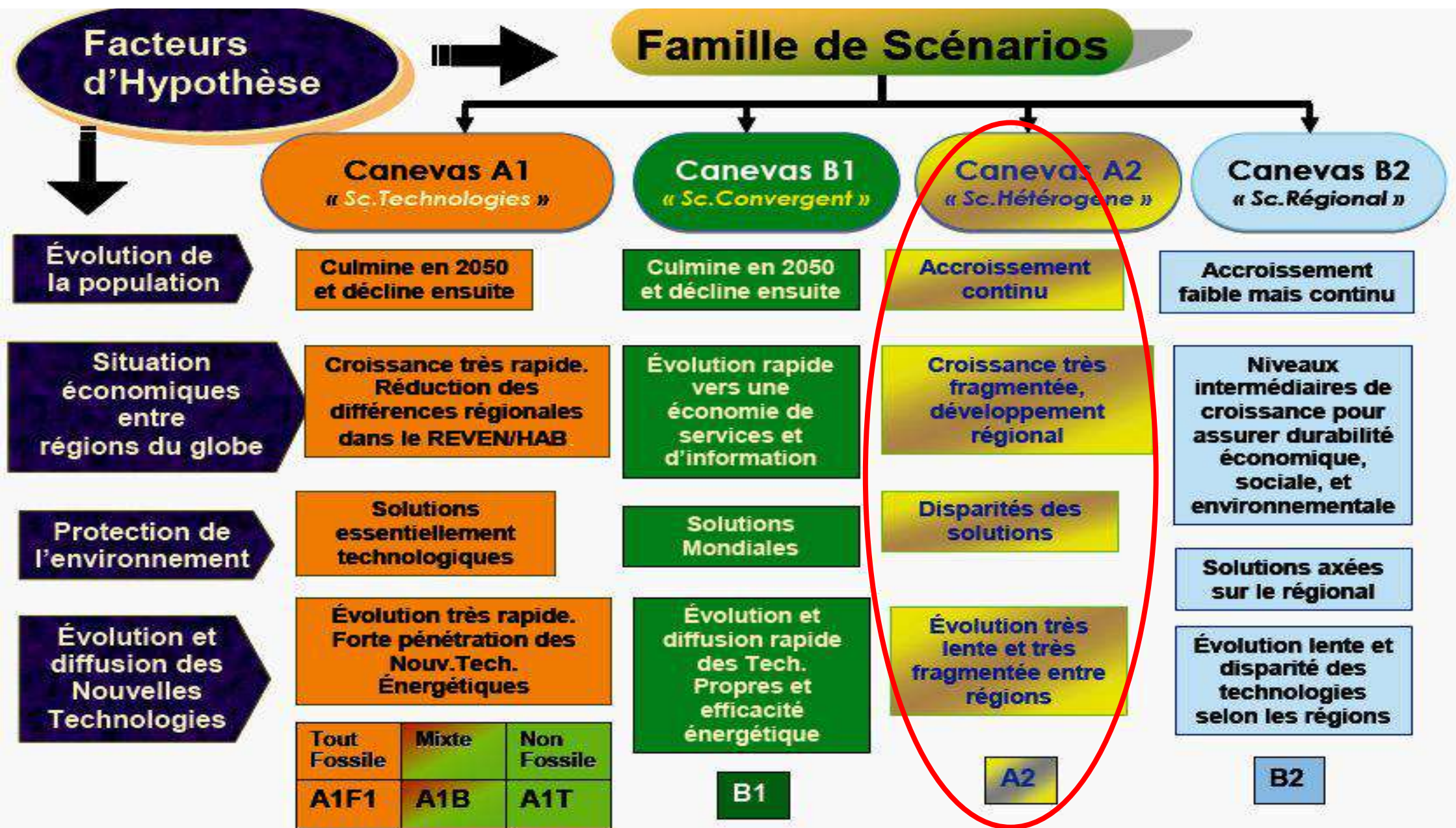
▪ Les précipitations moyennes diminueront de 5 à 50% en 2100

Recapitulatif:

En termes d'évolutions et
tendances observées au Maroc:

- L'évolution des indices thermiques confirme donc la tendance vers le réchauffement
- la tendance des indices pluviométriques est vers l'assèchement surtout en fin de la saison pluvieuse; période importante pour l'agriculture
- Tendance vers la migration du climat à caractère semi-aride vers le nord

Projections du changement climatique futur: Scénarios d'émission GES

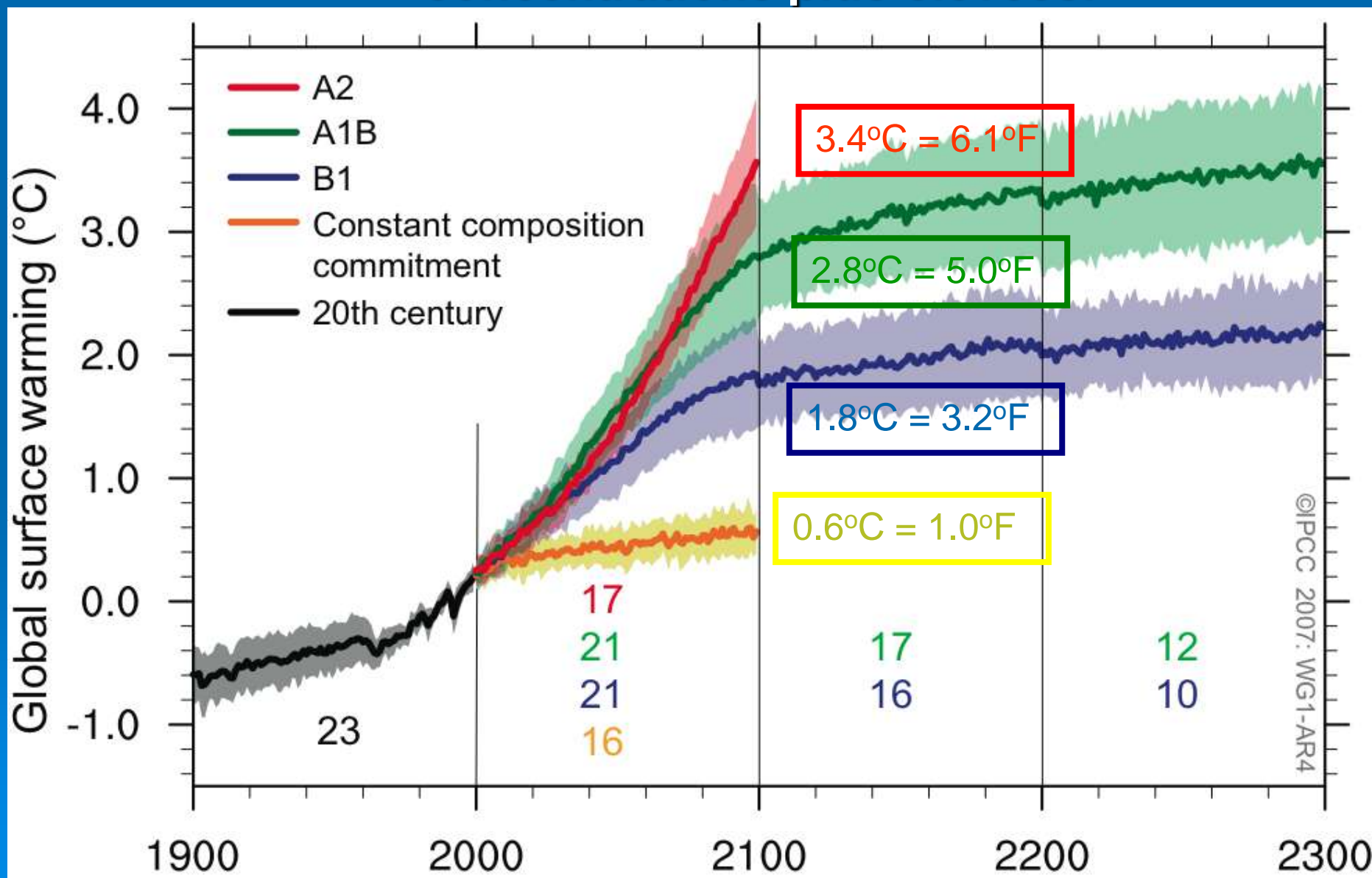


Projections des valeurs moyennes du réchauffement à la surface du globe pour la fin siècle (2090-2099) *par scénario*

Canevas	Scénario	Concentration CO2 (ppm)	Valeur probable	Intervalle probable
Convergent	<i>B1</i>	600	1,8	1,1 – 2,9
Technologies énergétiques	<i>A1T Non Fossile</i>	700	2,4	1,4 – 3,8
Regional	<i>B2</i>	800	2,4	1,4 – 3,8
Technologies énergétiques	<i>A1B Mixte/équilibré</i>	850	2,8	1,7 – 4,4
Hétérogène	<i>A2</i>	1 250	3,4	2,0 – 5,4
Technologies énergétiques	<i>A1F1 Tout Fossile</i>	1 550	4,0	2,4 – 6,4
<i>Concentration constante</i>		<i>(niveau 2000)</i>	0,6	0,3 – 0,9

Projections futures

Le réchauffement continuera si les concentrations de GES augmentent. Si les concentrations étaient maintenues au niveau actuel, un réchauffement inexorable de 0.6°C se produirait d'ici à 2100. Un réchauffement plus large se produira pour les concentrations plus élevées.



Equ. CO₂

850

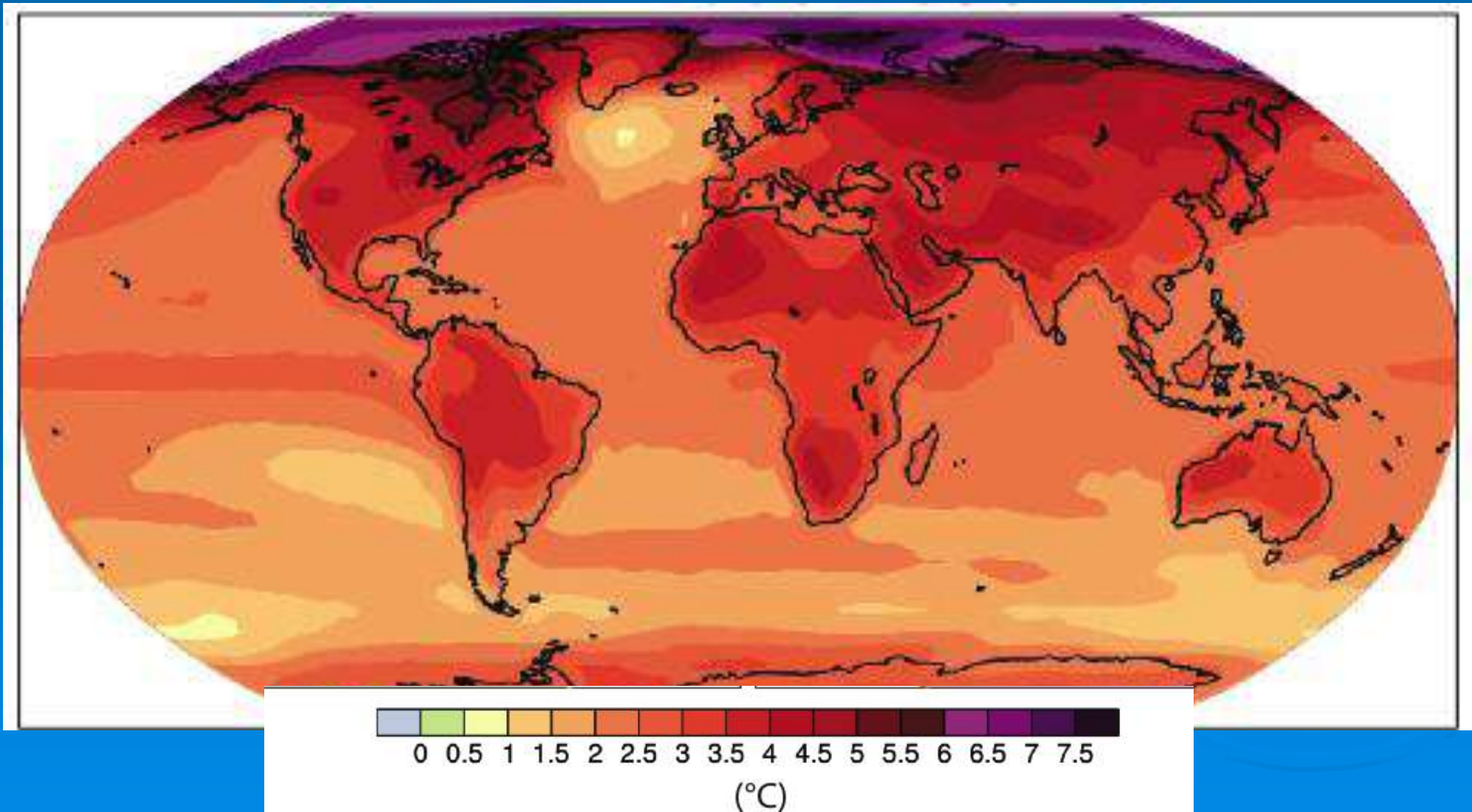
600

400

A1B est un scénario “business as usual” typique

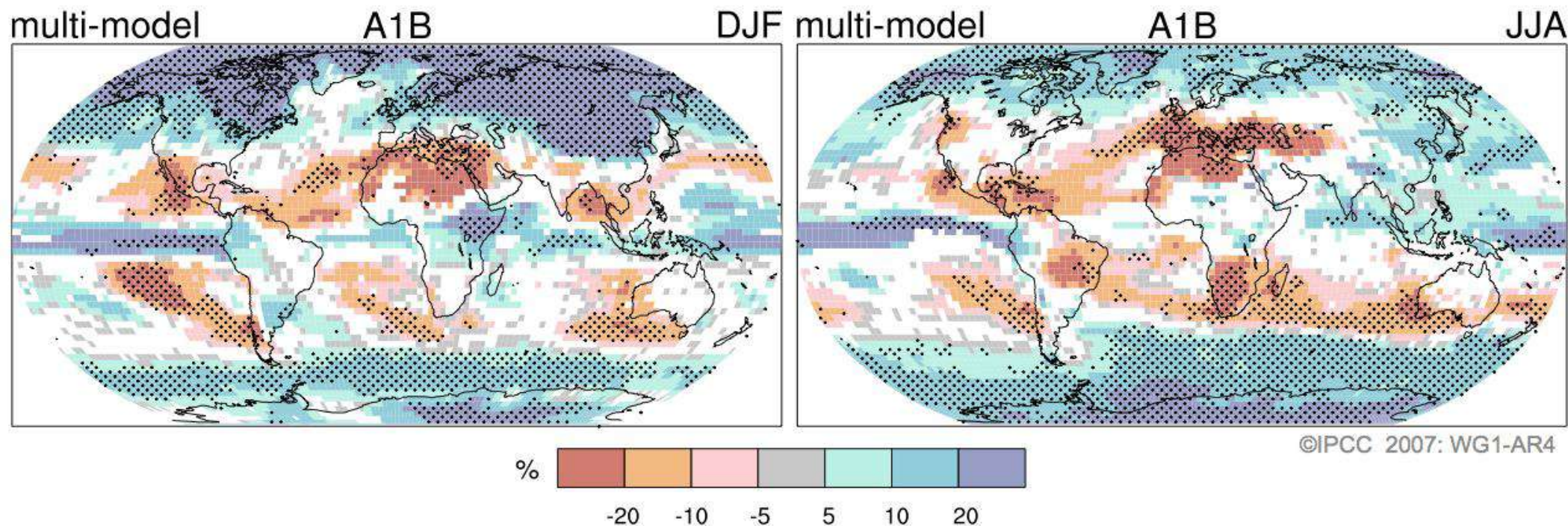
Réchauffement global (2090-2100) : 2.8°C;
Régions continentales se réchauffent de ~3.5°C,
l'Arctique se réchauffe de ~7°C.

Plus faible réchauffement pour émissions plus faibles



Projections du changement climatique futur

Projected Patterns of Precipitation Changes



Probablement :

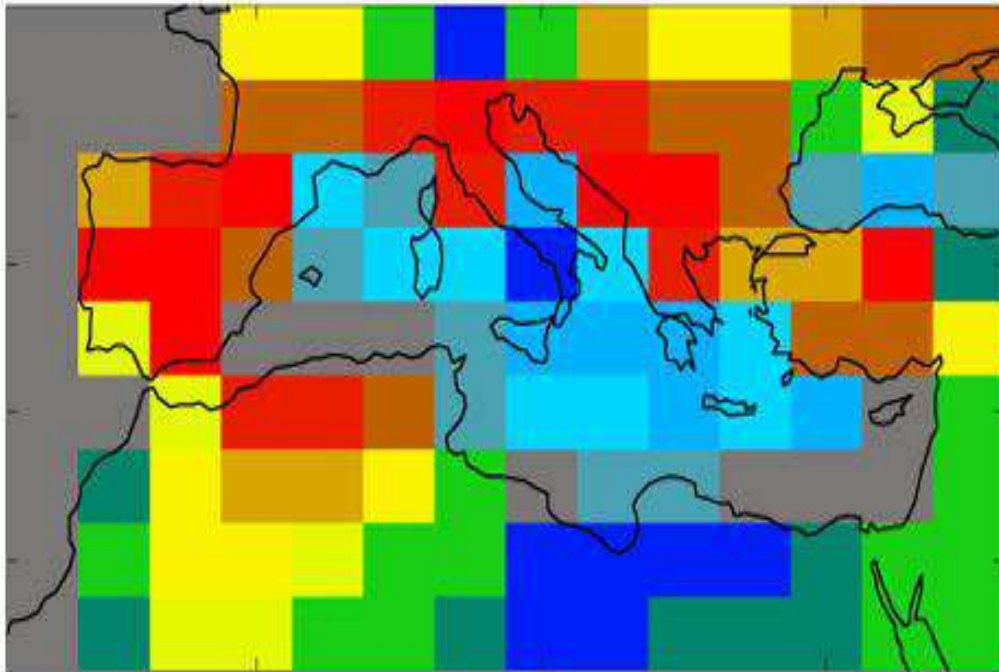
plus d'événements de précipitation intense
plus de régions affectées par la sécheresse
risques d'inondations dans d'autres régions
plus de cyclones tropicaux intenses

Très probablement plus de vagues de chaleur, moins de périodes froides

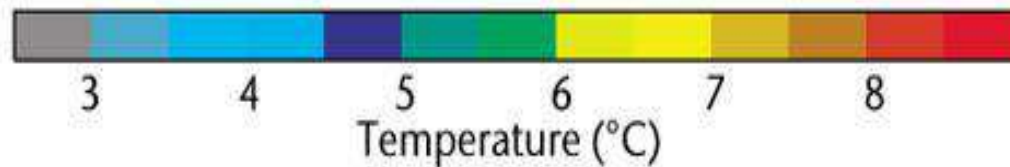
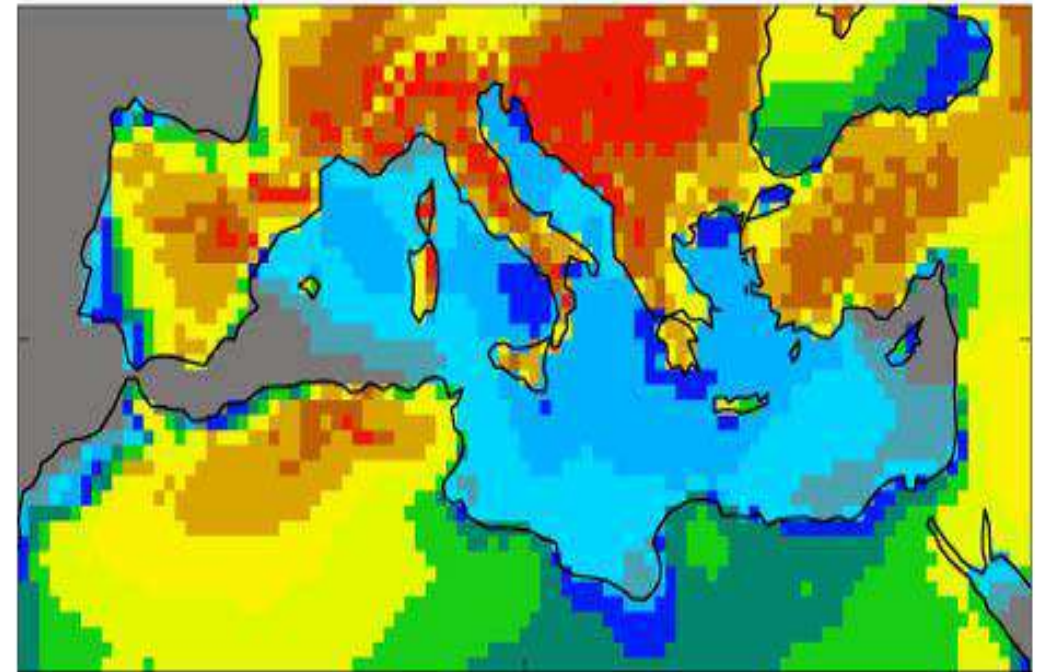
SUMMER TEMPERATURES in the 2080s

compared to the present day, due to A2 emissions

Global climate model



Regional climate model

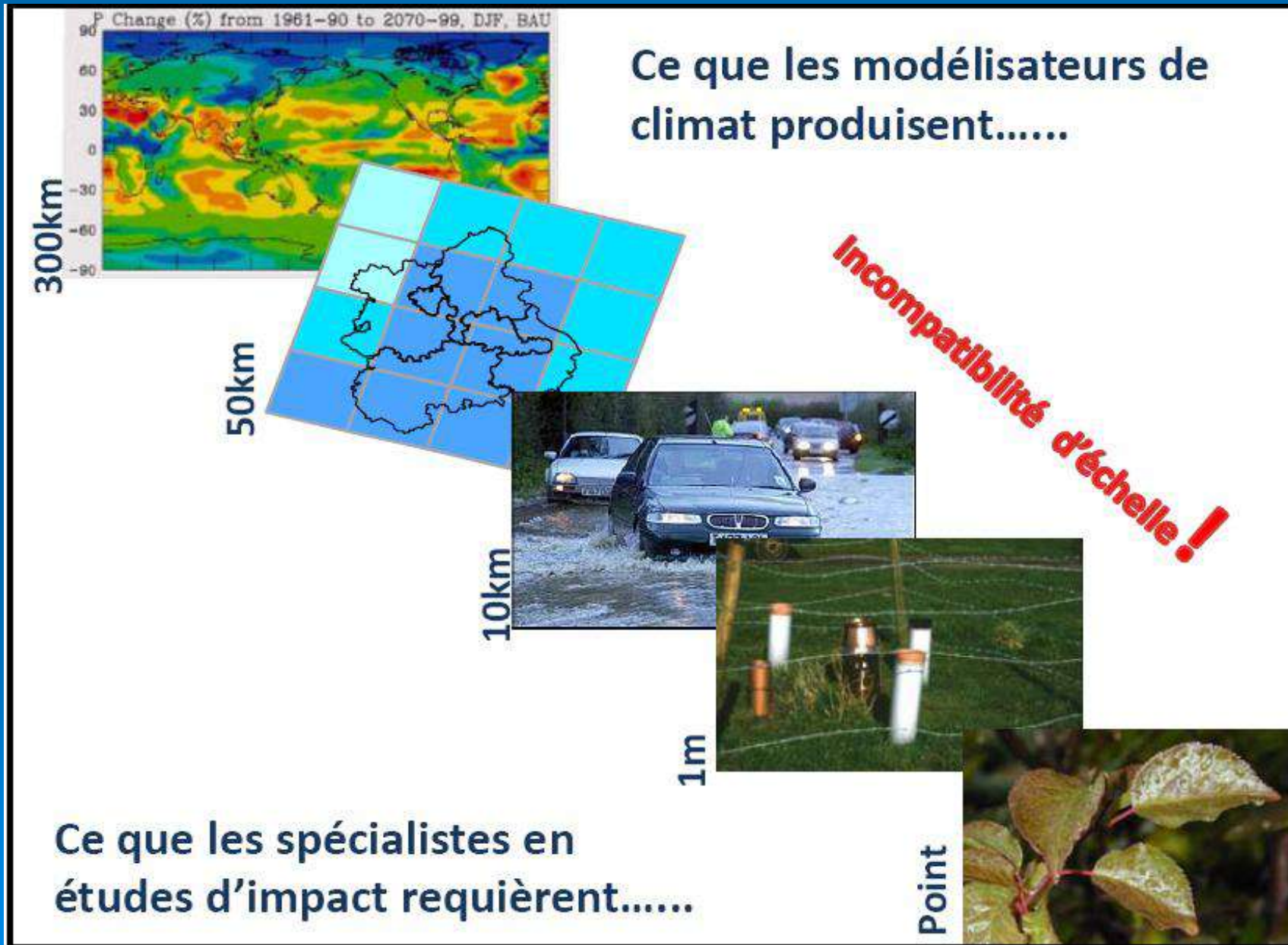


Climate changes very differently and can only be predicted using an RCM

Réduction d'échelle dynamique

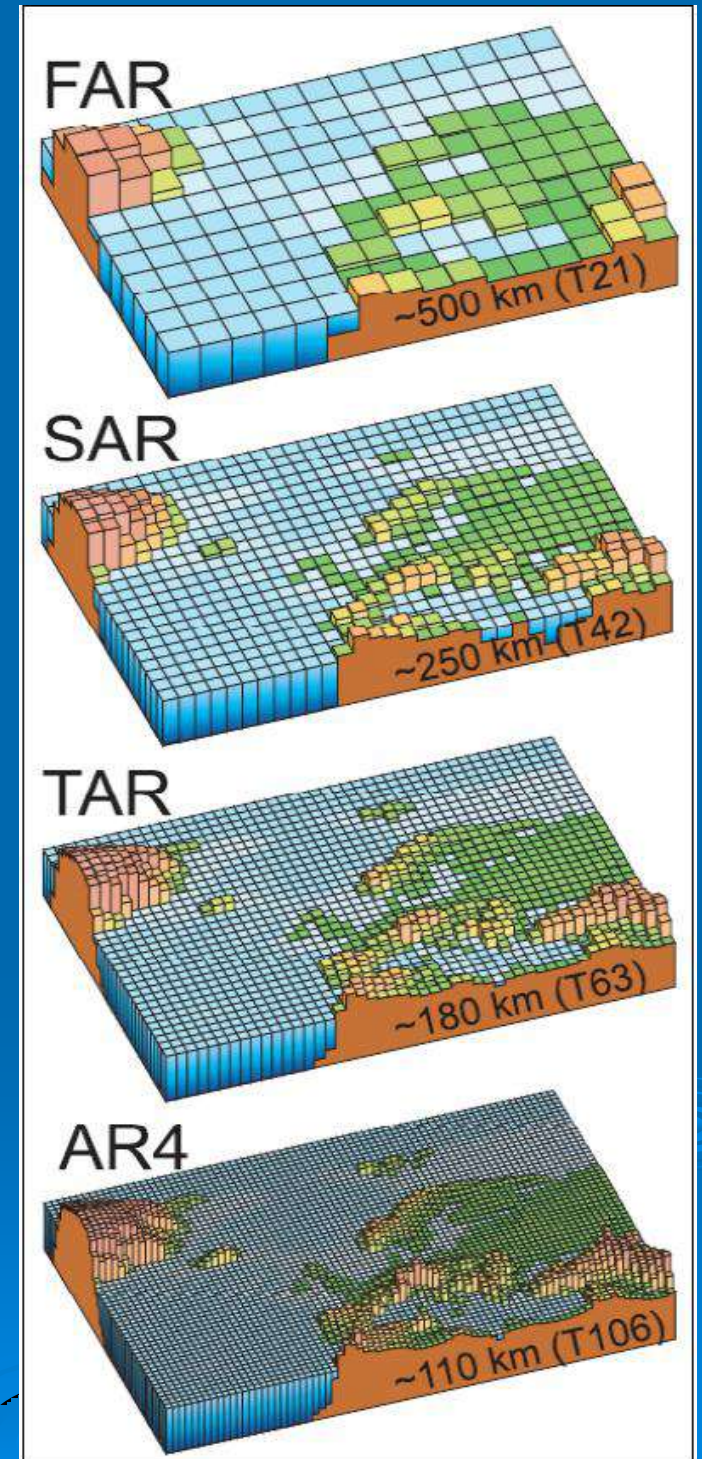


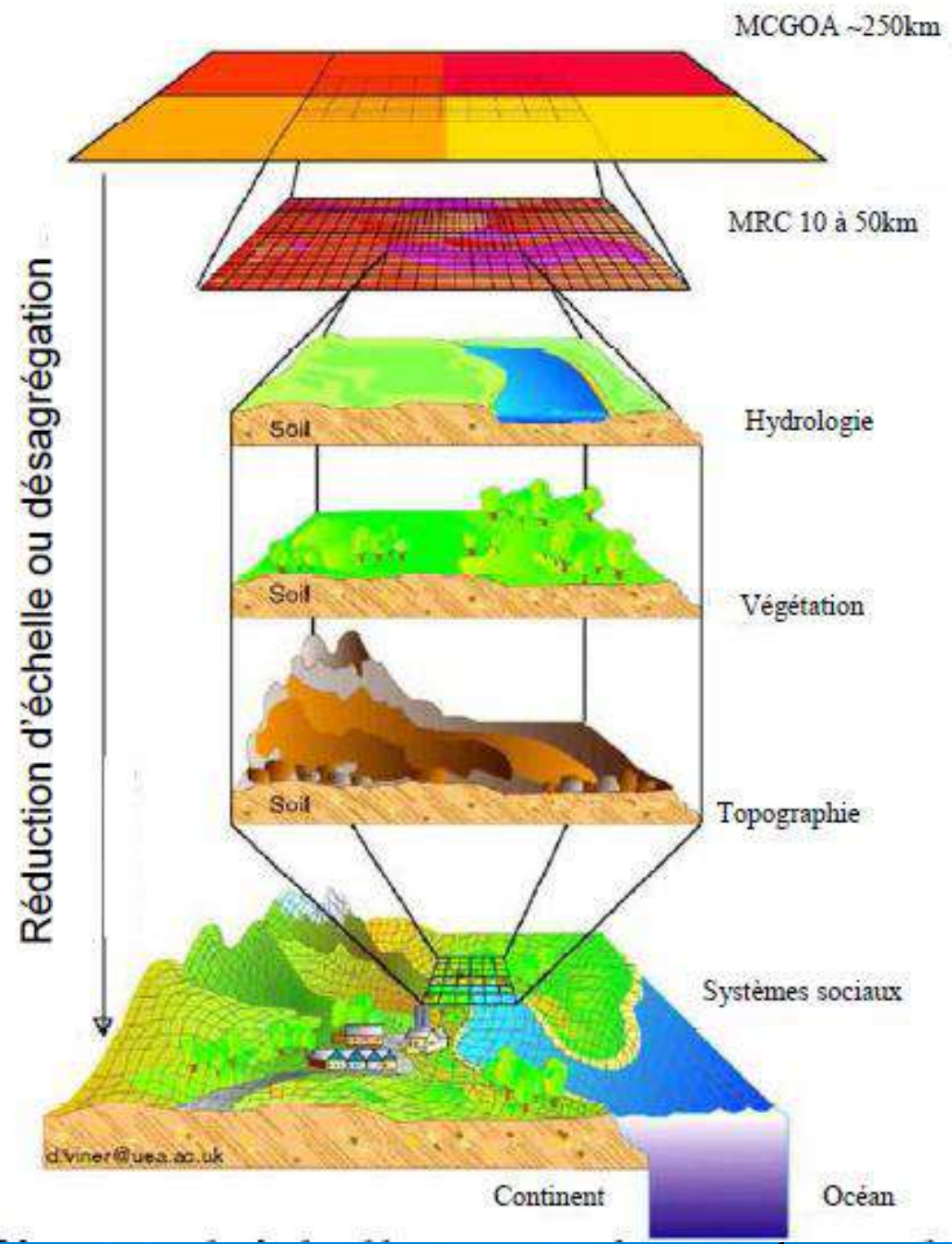
Réduction d'échelle



Réduction d'échelle

Technique qui consiste à combler l'écart entre les échelles où les modèles de circulation générale font leurs prévisions climatiques et les échelles requises pour les études d'impact.





Techniques de réduction d'échelle

Méthodes dynamiques

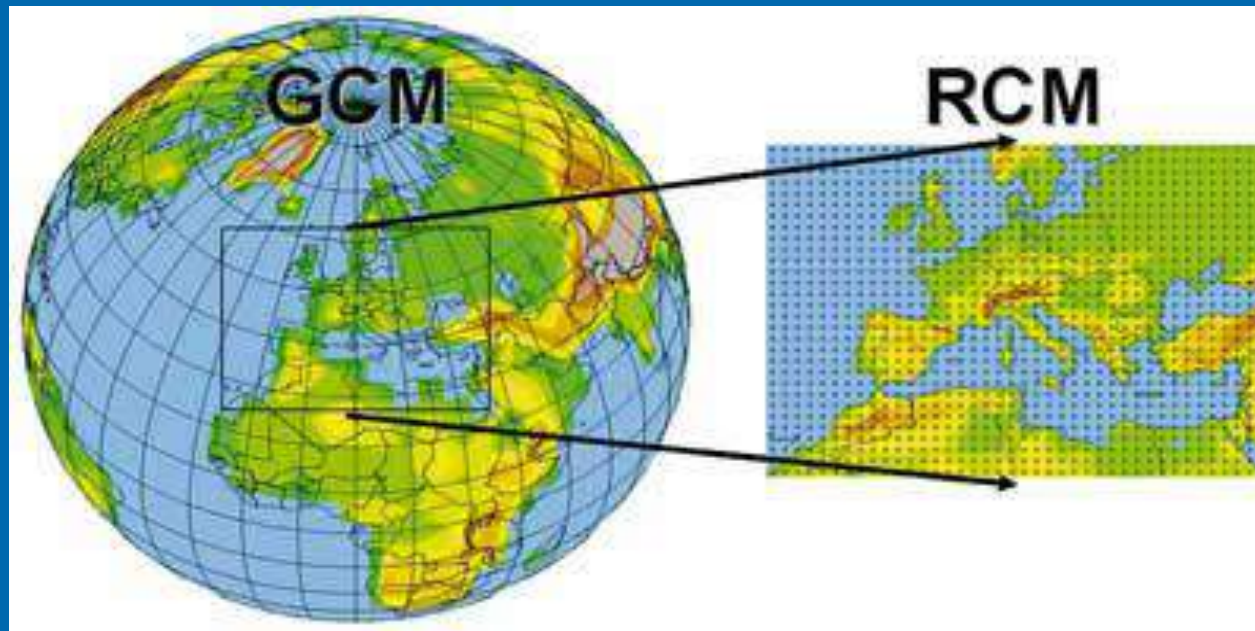


**Résolution variable
(RV)**

**Modèles à air limité
(RCM)**

**Méthodes empiriques
ou statistiques**

Techniques de réduction d'échelle Dynamiques (RCM)



**Prise en compte
des processus
globaux**

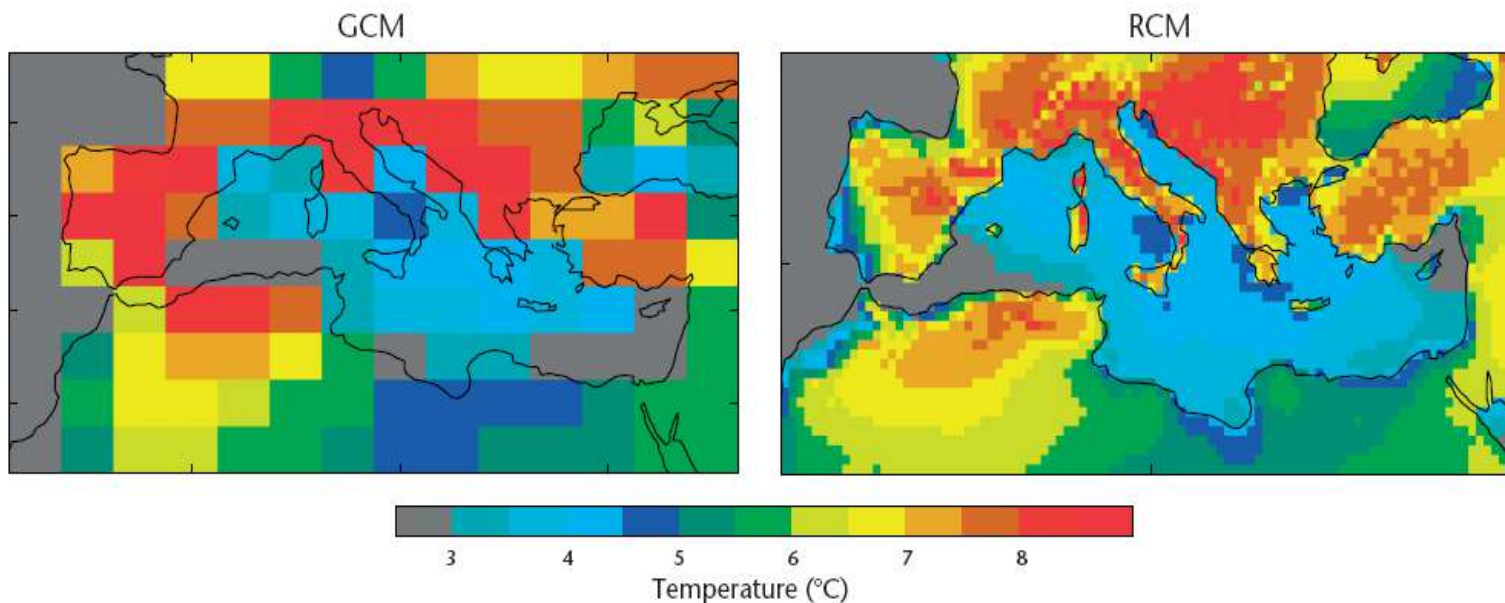
**- Forcé aux
frontières du
domaine par un
MCG**

**- Meilleure prise en
compte des facteurs
régionaux**

**(topographie,
végétation, ...)**

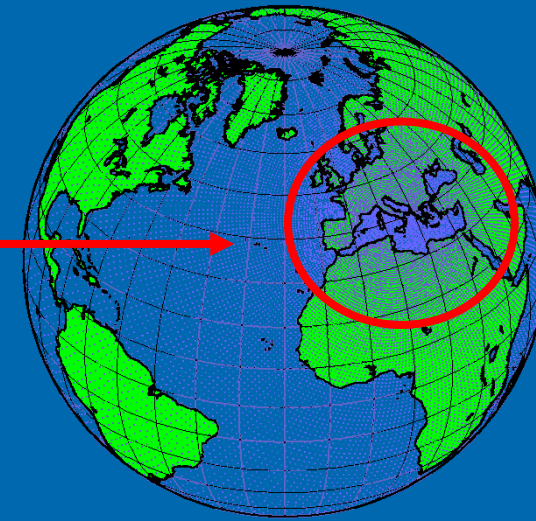
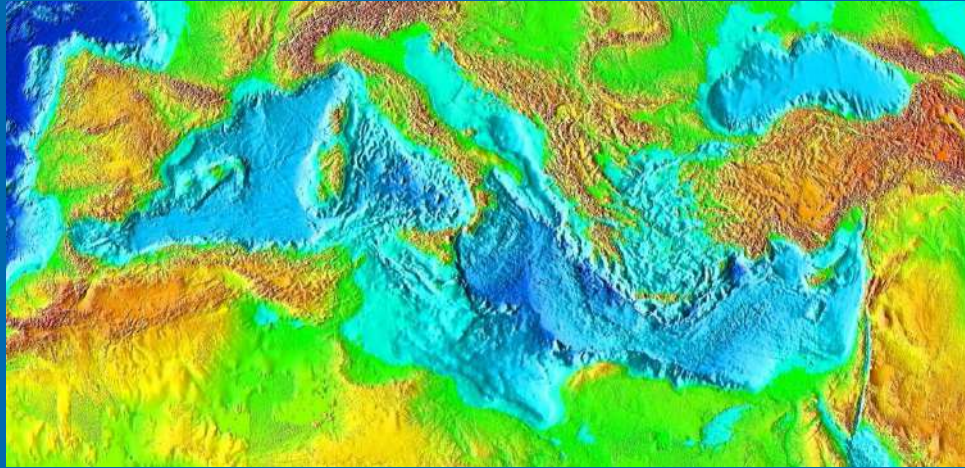
- 10km à 50km

**- Mais des
contraintes**

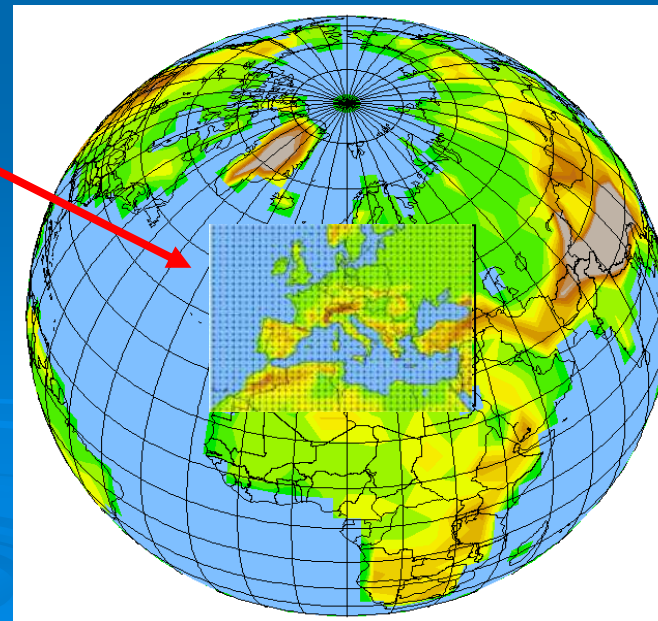


De nombreuses incertitudes liées à la complexité de la géographie des régions méditerranéennes

→ Besoin de recourir à des modèles climatiques régionaux

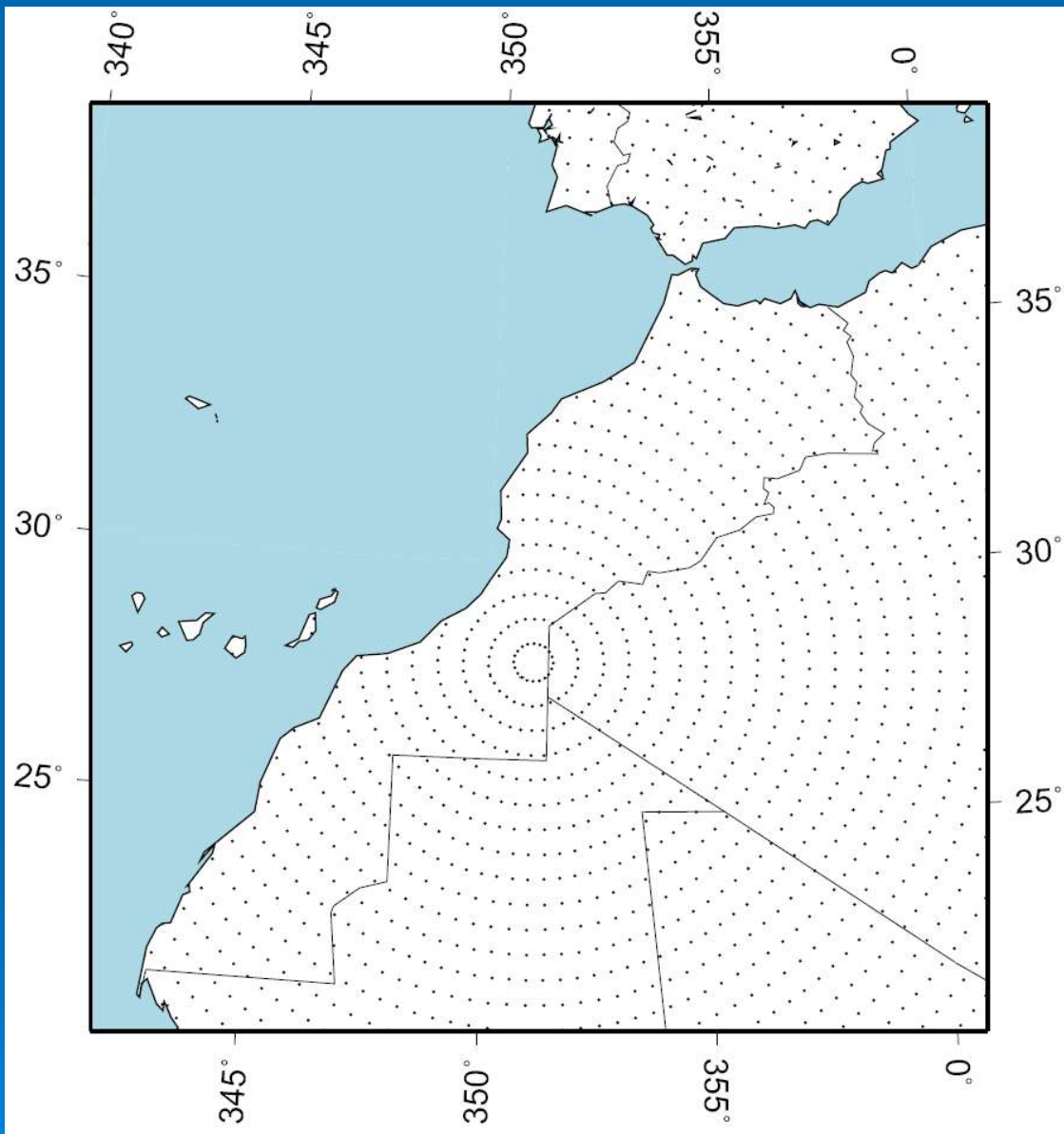


Modèle de climat régional ARPEGE étiré



Modèle de climat régional Aladin-Climat
(coopération Consortium Aladin dont Maroc-Météo)

Modélisation climatique



Model

$$\frac{du}{dt} = \frac{\tan \phi}{R} uv - \frac{uw}{R} + f_v - \hat{f}_w - \frac{1}{\rho R \cos \phi} \frac{\partial p}{\partial \lambda} + F_\lambda$$

$$\frac{dv}{dt} = -\frac{\tan \phi}{R} u^2 - \frac{vw}{R} - fu - \frac{1}{\rho R} \frac{\partial p}{\partial \phi} + F_\phi$$

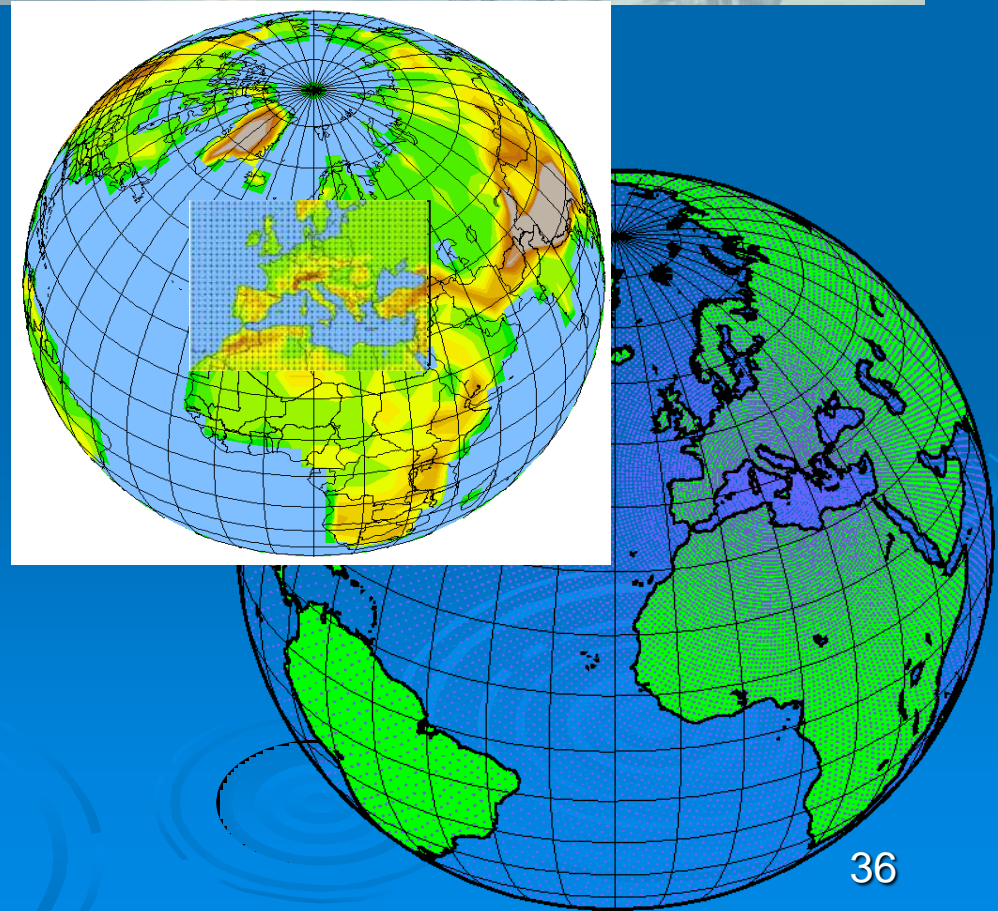
$$\frac{dw}{dt} = \frac{u^2}{R} + \frac{v^2}{R} + \hat{f}_u - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} - g + F_z$$

$$\frac{dp}{dt} = -\rho \text{div} \vec{v}; \quad \vec{v} = \vec{\Omega} \times \vec{r}$$

$$\frac{dT}{dt} = Q + \alpha \frac{dp}{dt}$$

$$\frac{dq}{dt} = S(q) + D$$

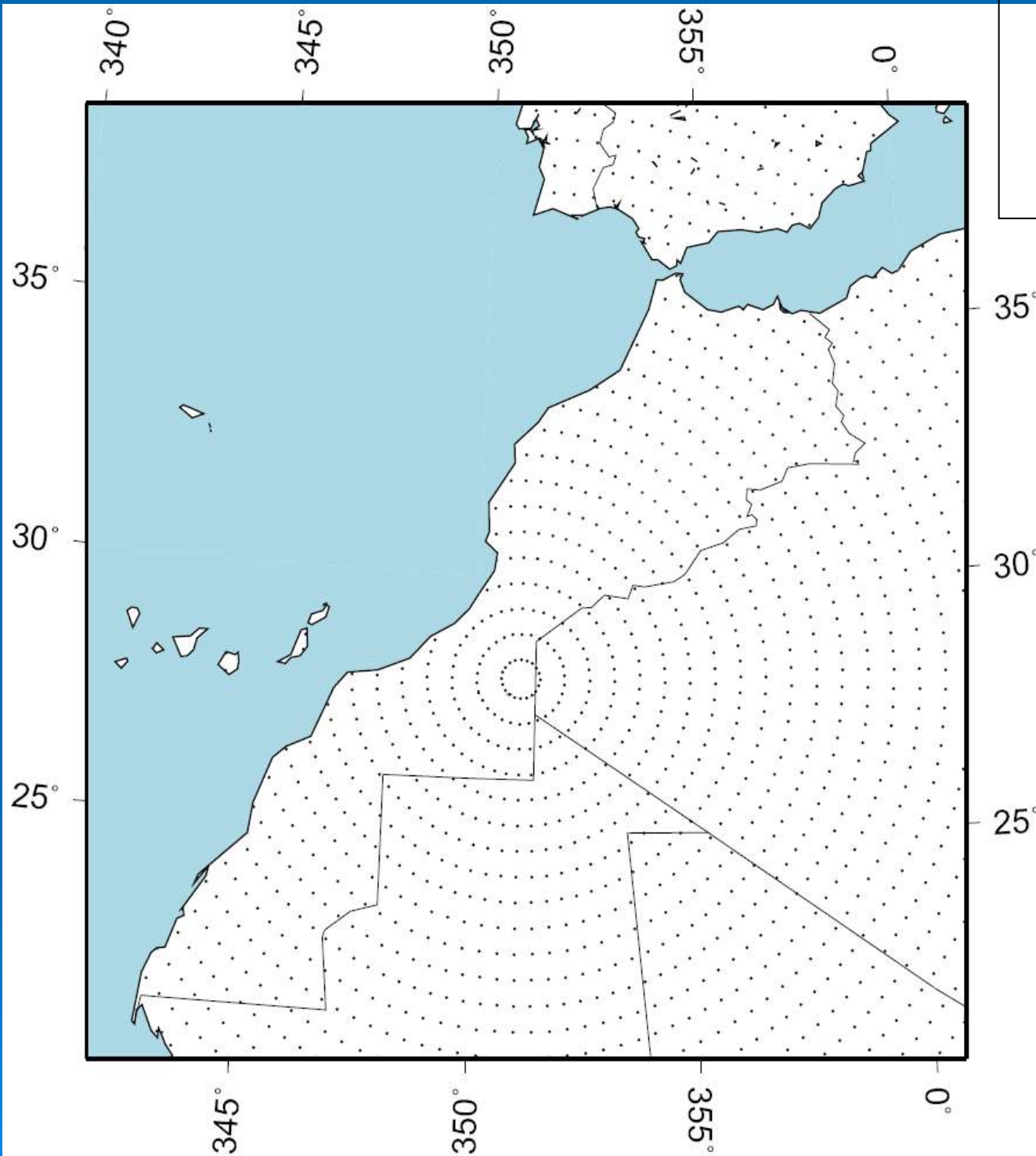
$$\rho = \rho_0 T^{\gamma} (1 - 0.61q)$$



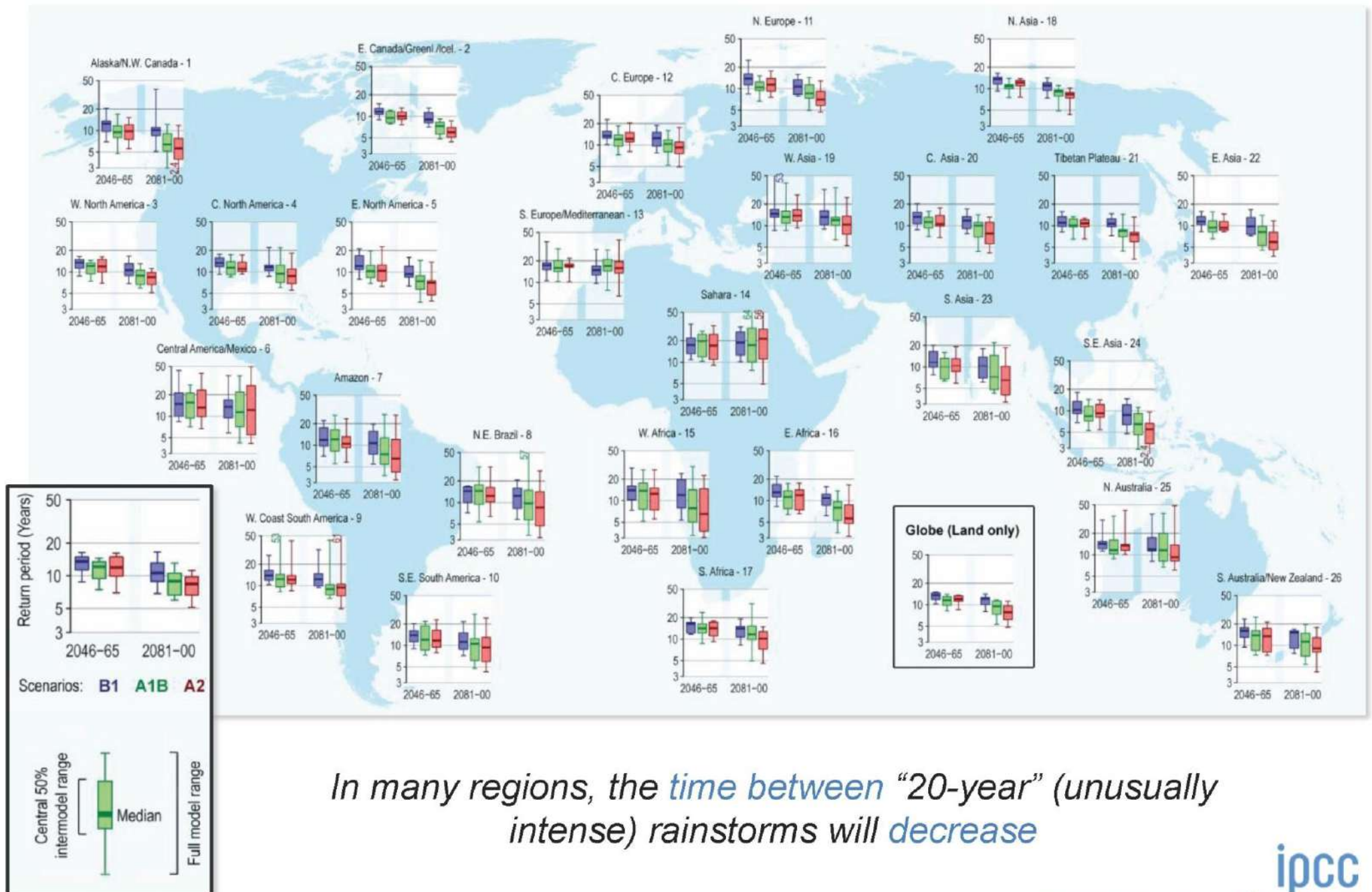
Scénarios de CC à haute résolution élaborés Avec le modèle français **ARPEGE-Climat**

Version 4 d'ARPEGE-Climat

- Le pôle d'étirement situé sur le Maroc à 28°N , 8°W
- Facteur d'étirement 3
- Résolution horizontale de 50 à 60 Km sur tout le pays
- La résolution verticale est de 31 niveaux verticaux (de la surface à 10 hPa)
- Les aérosol suivent un cycle saisonnier

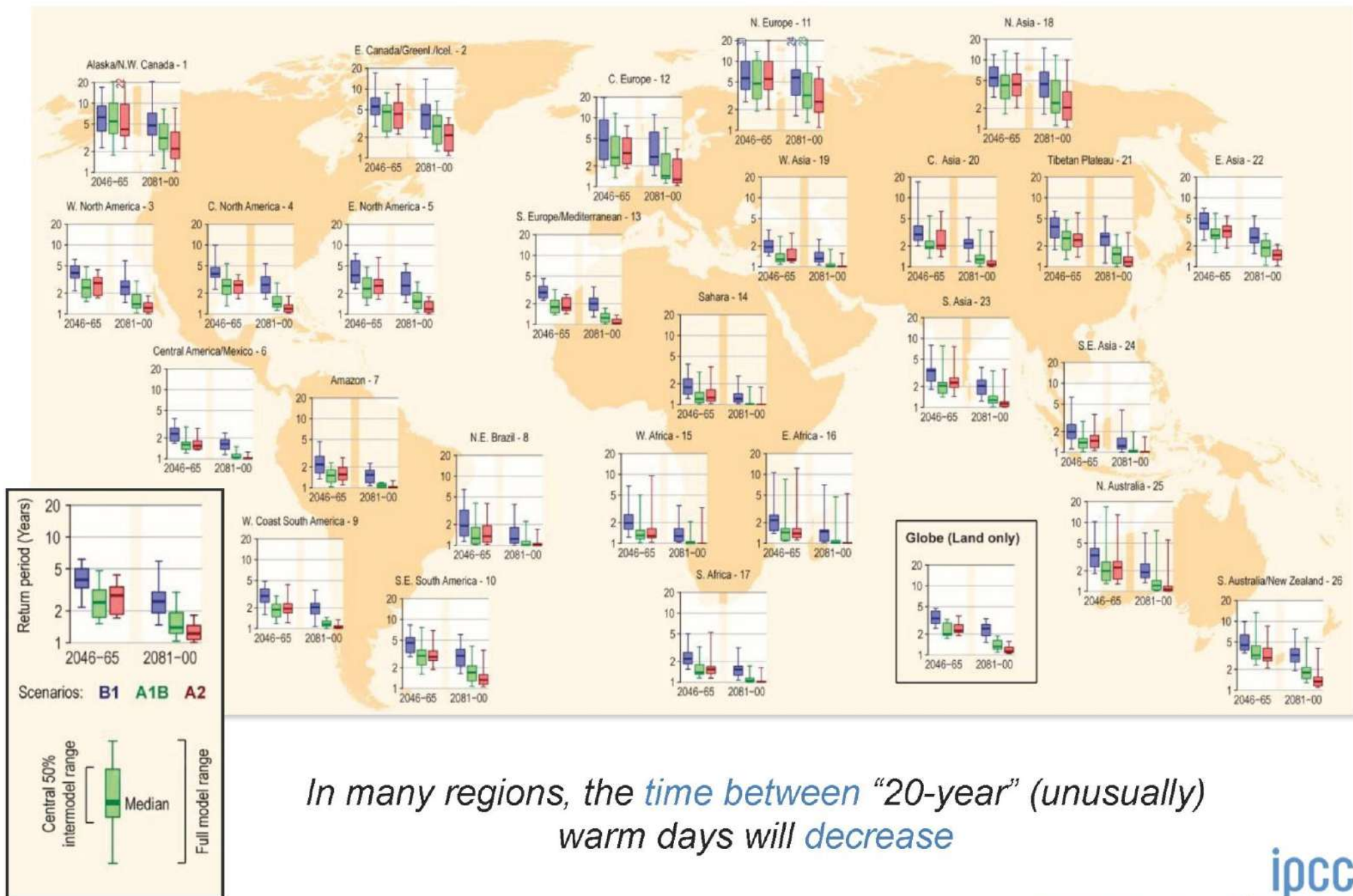


Climate models project there will be more heavy rain events throughout the 21st century



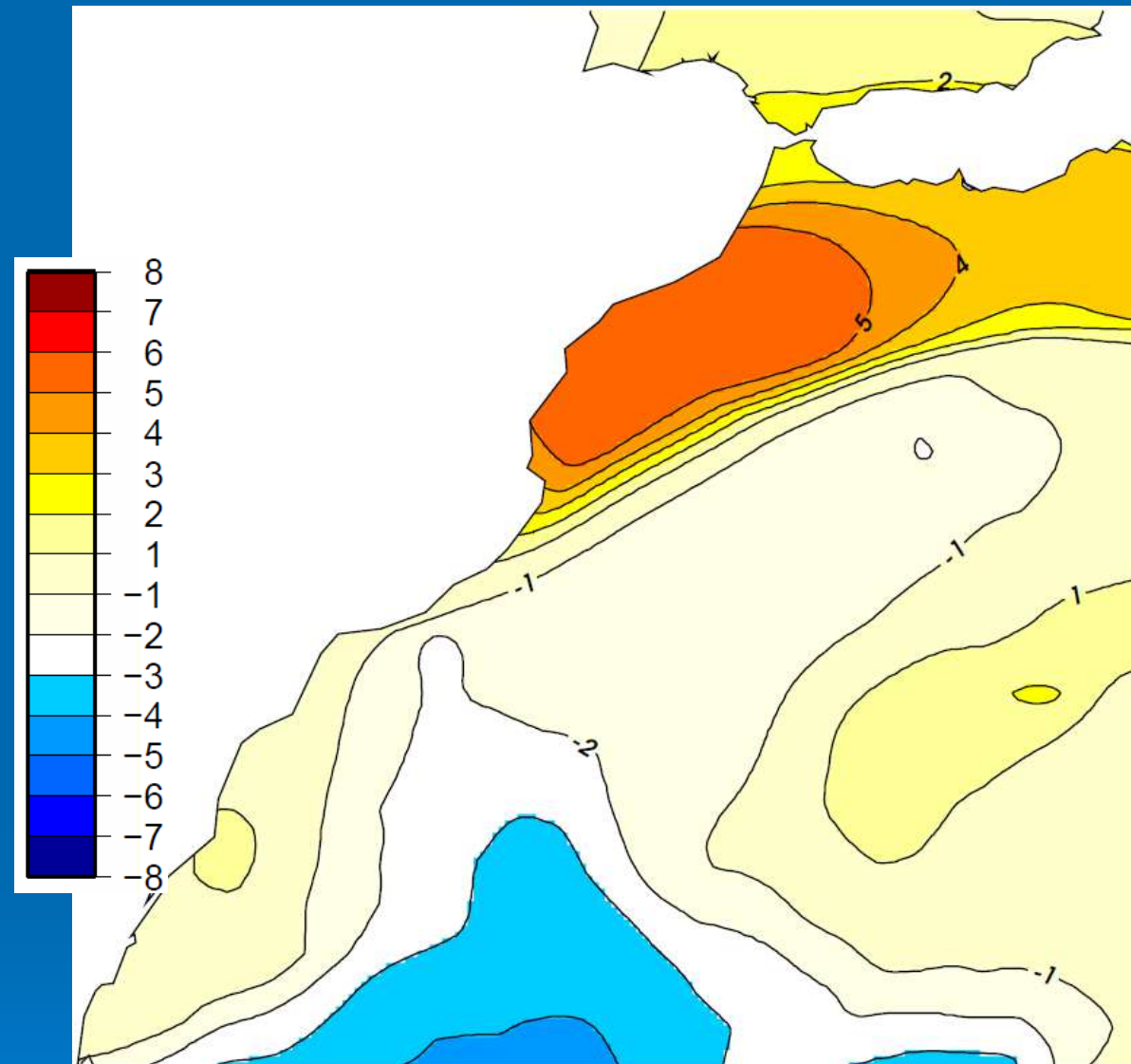
In many regions, the time between “20-year” (unusually intense) rainstorms will decrease

Climate models project more frequent hot days throughout the 21st century



In many regions, the time between “20-year” (unusually) warm days will decrease

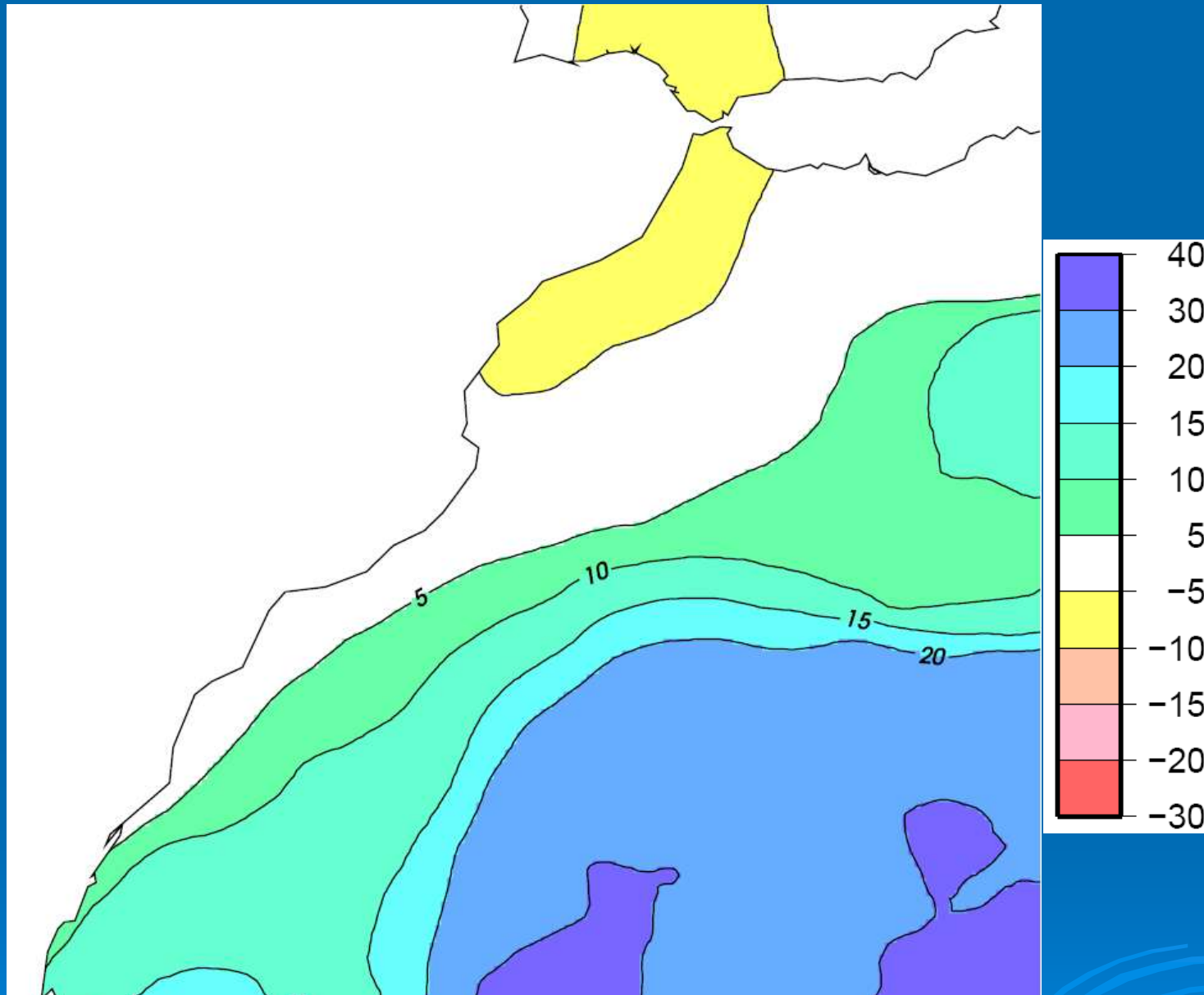
Nombre maximal de jours consécutifs secs (en jours)



**Changements projetés par ARPEGE-Climat sous le scénario A1B
pour l'hiver étendu (octobre à mars).
2021-2050 par rapport à 1971-2000.**

F. Driouech, M. Déqué, E. Sánchez-Gómez (2010)

Nombre d'évènements de fortes précipitations (en %)

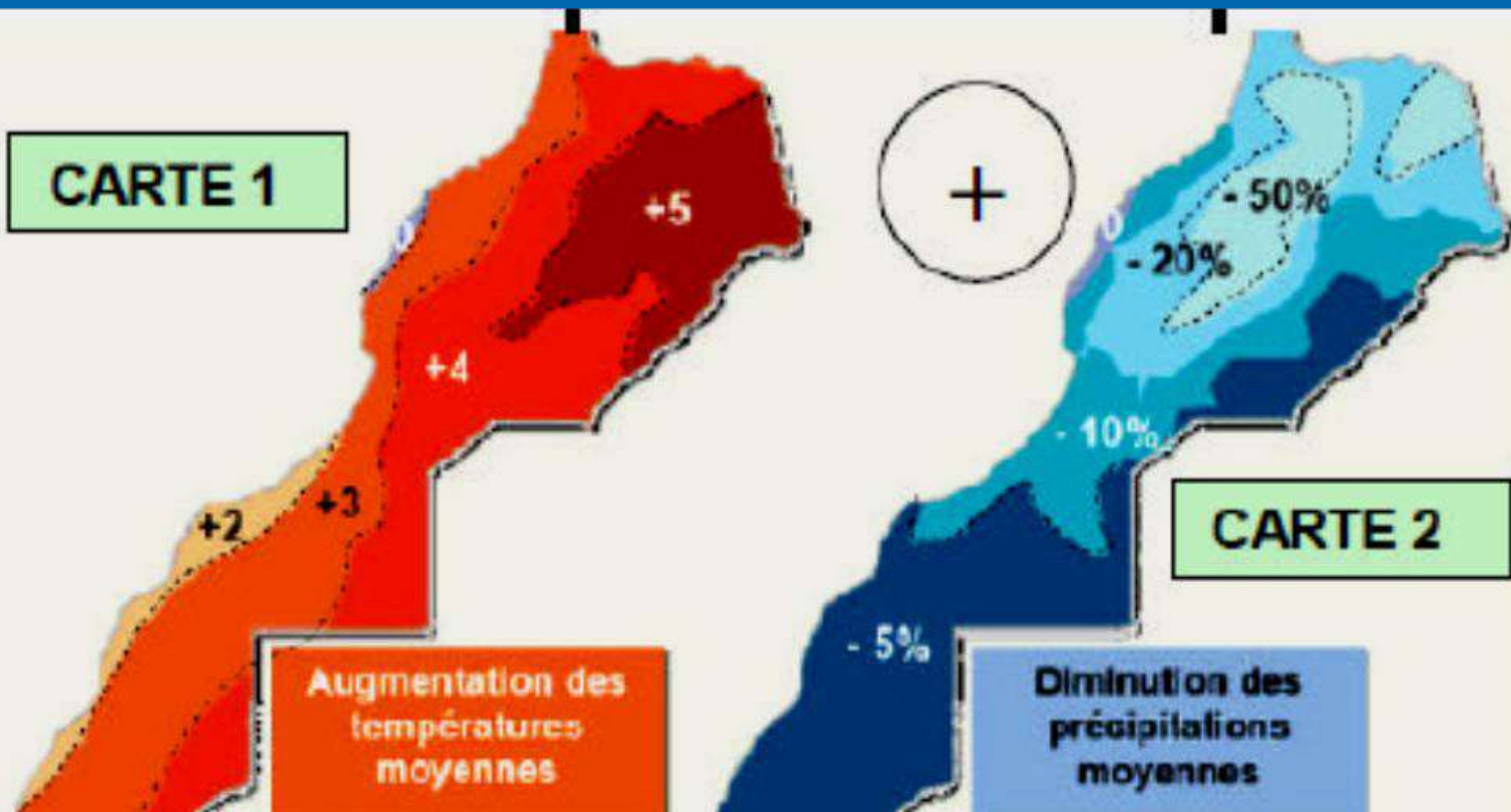


**Changements projetés par ARPEGE-Climat sous le scénario A1B
pour l'hiver étendu (octobre à mars).
2021-2050 par rapport à 1971-2000.**

F. Driouech, M. Déqué, E. Sánchez-Gómez (2010)

Projections futures du changement climatique au Maroc

Synthèse des projections (modèle Arpège-Climat, Scénario A2),



Phénomènes extrêmes

- Augmentation importante du nombre de vagues de chaleur estivale.
- Allongement des périodes intra-annuelles de sécheresse, et donc une augmentation de sa persistance temporelle, plus marquée au printemps que durant le reste de la saison pluvieuse.

Effective risk management and adaptation are tailored to **local** and **regional** needs and circumstances

- changes in climate extremes vary across regions
- each region has unique vulnerabilities and exposure to hazards
- effective risk management and adaptation address the factors contributing to exposure and vulnerability



Managing the risks: **heat waves** in Europe

Risk Factors

- lack of access to cooling
- age
- pre-existing health problems
- poverty and isolation
- infrastructure



Risk Management/Adaptation

- cooling in public facilities
- warning systems
- social care networks
- urban green space
- changes in urban infrastructure

Projected: *likely* increase in heat wave frequency and *very likely* increase in warm days and nights across Europe

Managing the risks: hurricanes in the USA and Caribbean

Risk Factors

- population growth
- increasing property value
- higher storm surge with sea level rise



Risk Management/Adaptation

- better forecasting
- warning systems
- stricter building codes
- regional risk pooling

Projected globally: *likely* increase in average maximum wind speed and associated heavy rainfall (although not in all regions)

Managing the risks: flash floods in Nairobi, Kenya

Risk Factors

- rapid growth of informal settlements
- weak building construction
- settlements built near rivers and blocked drainage areas



Risk Management/Adaptation

- reduce poverty
- strengthen buildings
- improve drainage and sewage
- early warning systems

Projected: *likely* increase in heavy precipitation in East Africa

Managing the risks: **sea level rise** in tropical Small Island Developing States

Risk Factors

- shore erosion
- saltwater intrusion
- coastal populations
- tourism economies



Risk Management/ Adaptation

- early warning systems
- maintenance of drainage
- regional risk pooling
- relocation

Projected globally: *very likely* contribution of sea level rise to extreme coastal high water levels (such as storm surges)

Managing the risks: drought in the context of food security in West Africa

Risk Factors

- more variable rain
- population growth
- ecosystem degradation
- poor health and education systems



Risk Management/Adaptation

- improved water management
- sustainable farming practice
- drought-resistant crops
- drought forecasting

Projected: *low confidence* in drought projections for West Africa

Managing risks of disasters in a changing climate benefits from an iterative process



Learning-by-doing and low-regrets actions can help reduce risks now and also promote future adaptation

Conclusions

Pour en fin du XXIe siècle (scénario IPCC de type A2):

- Augmentation générale de la température moyenne en toutes saisons avec des fourchettes de 2° C à 6° C
- Diminution des cumuls de précipitations par rapport au climat présent

En termes d'extrêmes:

- Augmentation des températures minimales et maximales
- Augmentation du nombre de jours de vagues de chaleur estivales
- Allongement des périodes maximales de sécheresse plus marqué au printemps que sur le reste de la saison pluvieuse

Nécessité de régionalisation et descente d'échelle et d'étude d'impact sectorielles pour des informations convertibles en aide à la décision.

CONCLUSIONS

- le Maroc reste vulnérable face aux CC et phénomènes extrêmes
- **Nécessité de recourir à une gestion de la connaissance du risque**
 - ➔ **Nécessité de s'y adapter selon une trilogie**



avec comme objectif une **VIGILANCE CLIMATIQUE**

Opérée à 3 niveaux: national, Régional (Territorial), Sectoriel)