

Očekávaný vývoj klimatu v Evropě a ČR ve 21. století

Projected 21st Century Climate In Europe and Czechia



Martin Dubrovský

dub@ufa.cas.cz



Ústav fyziky atmosféry AVČR, Praha, Česká republika

Ústav výzkumu globální změny AVČR, Brno, Česká republika

poděkování:

- Jarka Kalvová (MFF), Ivana Nemešová a Radan Huth
- všichni uživatelé “mých” scénářů ZK a generatorů (zejména Zdeněk Žalud a Mirek Trnka z Brna)
- ÚFA, Mendelova Universita v Brně, ÚVGZ (CzechGlobe)

Něco o sobě

- **scénáře klimatu a změny klimatu (ZK) od 1995:** začátky jsou spojené s projektem “Country Studies” (generátor WGEN + výstupy z 3 GCM)
- **od té doby úzká spolupráce**, zejména s lidmi z Mendelovy University v Brně a CzechGlobe (Zdenek Žalud, Mirek Trnka, a spol....); společné experimenty, projekty (Cecilia, Climsave, COST, ...), články, ...
- **data a metodologie:**
 - GCM (databaze CMIP5), v omezené míře i RCM (CORDEX),
 - pattern scaling
 - stochastické meteorologické generátory sprážené se scénáři z GCM
- **hlavní produkty:** scénáře současného i budoucího klimatu šité na míru konkrétním experimentům zaměřeným na dopady změny klimatu:
 - **scénáře změny klimatu** (změny klimatických charakteristik, obvykle měsíčních či sezónních průměrných srážek, teplot a dalších prvků)
 - **časové řady reprezentující současné i změněné klima**, které jsou dále použity jako vstupy do různých modelů (například růstových, ale i hydrologických)

pár poznámek

- **nejedná se o “oficiální” scénáře pro ČR** (jako jsou např. UKCP09/18 pro UK, či CH2011/CH2014 pro Švýcarsko)
- **scénáři budoucího klimatu se u nás zabývá více lidí** (JK + RH + další z UFA; CzechGlobe AVČR, MFF UK, ČHMÚ), kteří používají jiná data a/nebo metody (RCM, dynamický downscaling, Extreme Value Analysis), jejich scénáře se od “mých” mohou více či méně lišit (to ale považují za důsledek mnoha nejistot zahrnutých v procesu odvozování scénářů budoucího klimatu).

schéma prezentace

0. Úvod (...ten už máme skoro za sebou)
1. Scénáře změny klimatu podle GCM modelů (CMIP5) pro vybrané emisní scénáře (RCP85 a RCP45), vzdálenější i bližší budoucnost (2071-2100, 2021-2050)
2. Využití stochastických meteorol. generátorů pro konstrukci vstupních časových řad pro “impaktové” studie
- 2b. “WG-friendly” scénáře změny klimatu + dopady ZK na vybrané klimatické indexy

!!! důraz na nejistoty z různých zdrojů

1. “základní” scénáře změny klimatu podle modelů GCM

- **výstupy z GCM sice nejsou statisticky věrohodným obrazem reality, nicméně existují způsoby, jak se s tímto problémem vypořádat:**
 - downscaling dynamický či statistický
 - **“delta approach”**: z GCM odvodíme změny (“scénář změny klimatu”), a ty pak aplikujeme na pozorovaná meteorol. data:

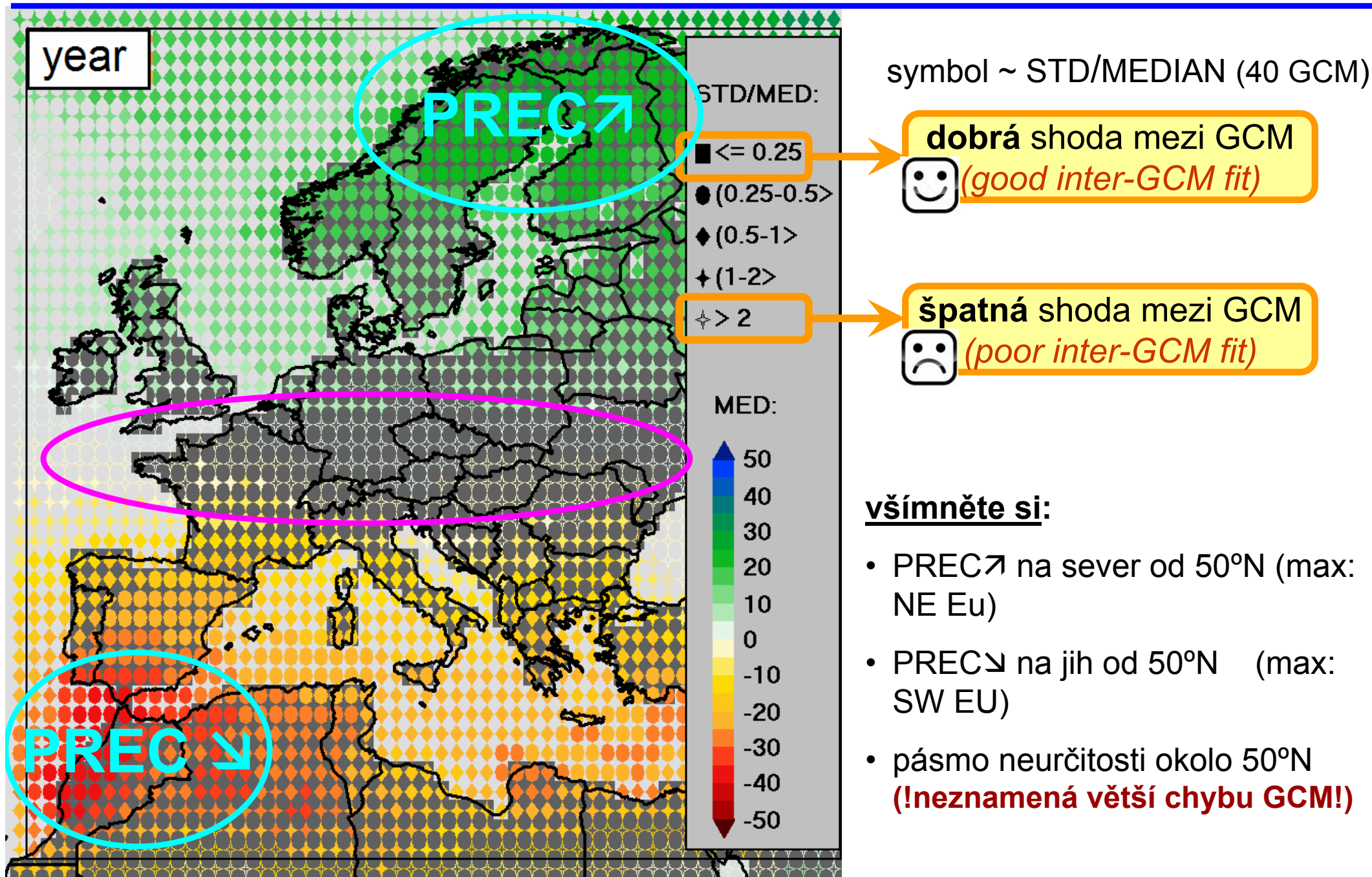
$$\Delta X(m) = X(m, \text{budoucnost}) - X(m, \text{současnost}) \quad (\text{aditivní změny; pro teploty})$$

$$\Delta X(m) = [X(m, \text{budoucnost}) - X(m, \text{současnost})] / X(m, \text{současnost}) \times 100\% \\ (\text{multiplikatívni změny; pro srážky, radiaci, variabilitu, ...})$$

- **Data:**
 - **40 GCM z CMIP5 (~AR5)**
 - **RCP85** (vysoký nárůst koncentrace sklen.plynů > výraznější ZK > větší odstup signálu od sumy > vyšší přesnost)

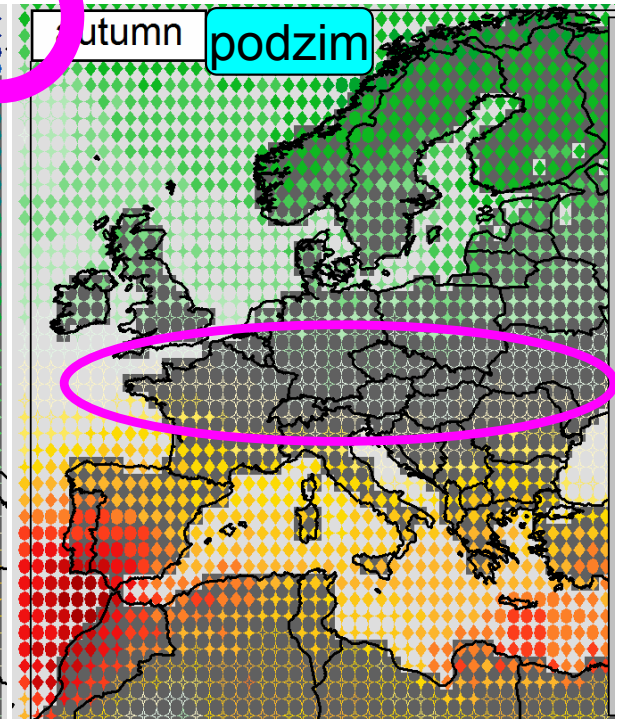
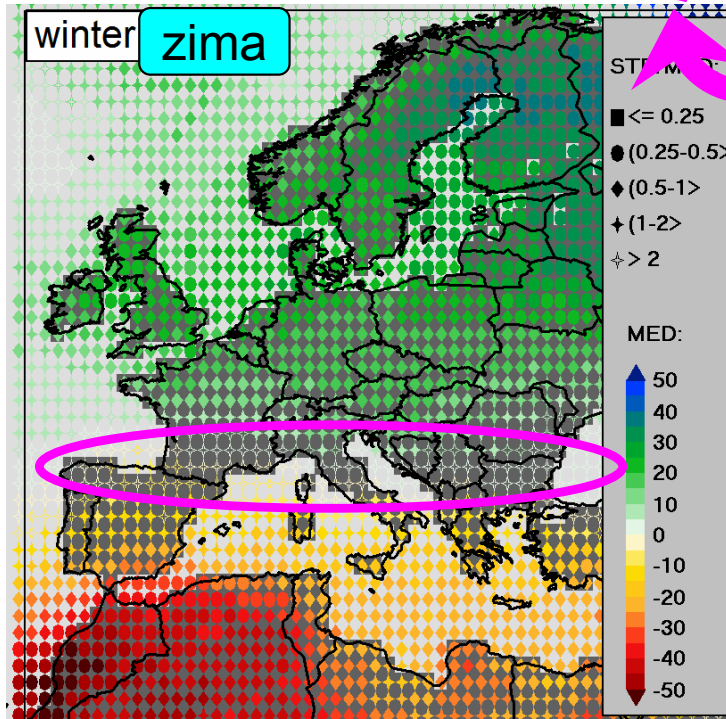
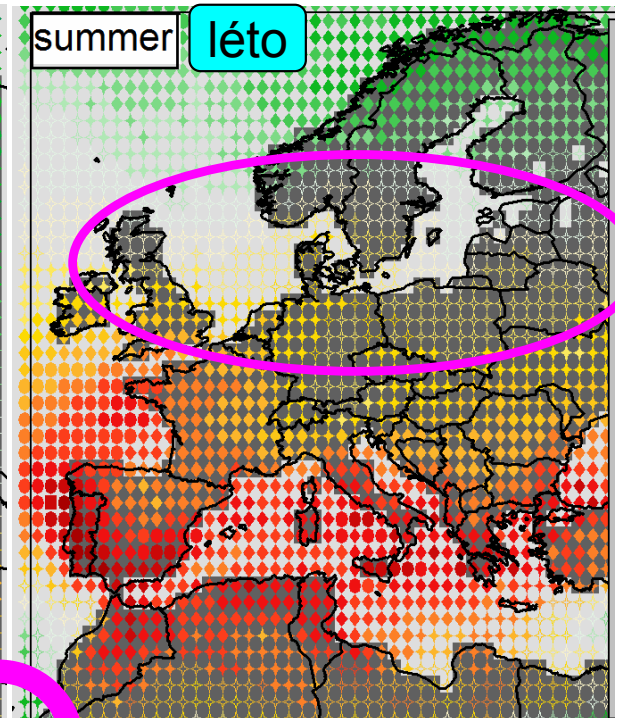
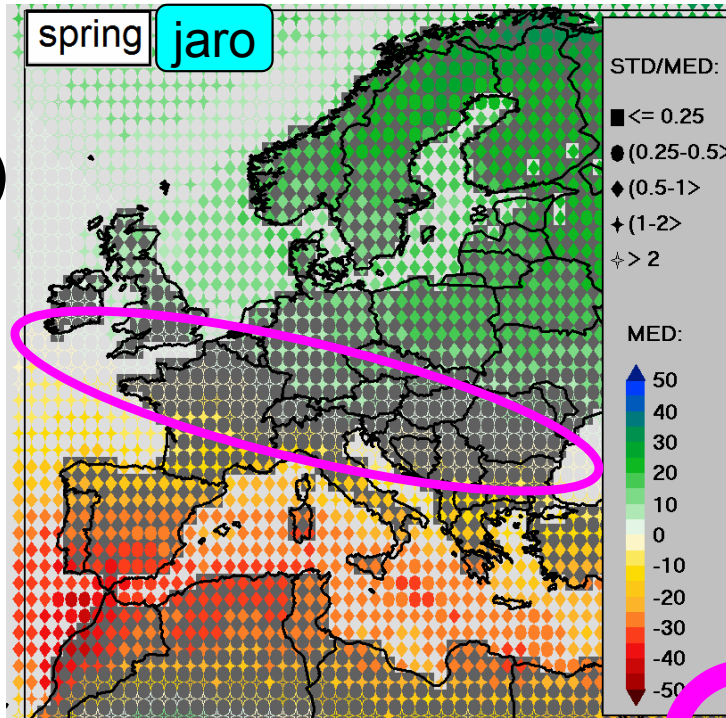
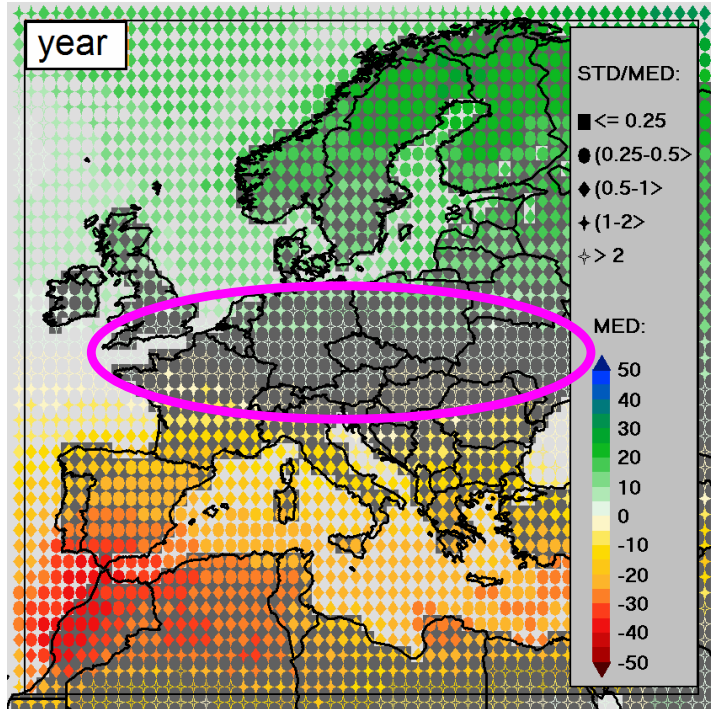
Δ PREC(year) - změna ročních úhrnů srážek

(40 GCMs; RCP85, 2071–2100 vs 1961–1990)



- změny sezónních úhrnů srážek [Δ PREC (seasons)]

40 GCM x RCP85
(2071–2100) vs (1961–90)



SJ pohyb pasu nejistoty

vyrazny

- leto: pokles srážek v MED

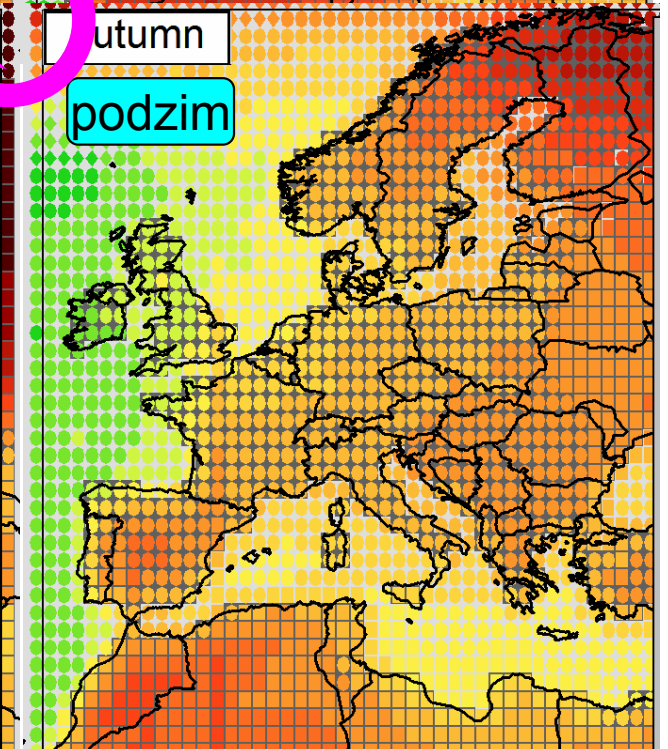
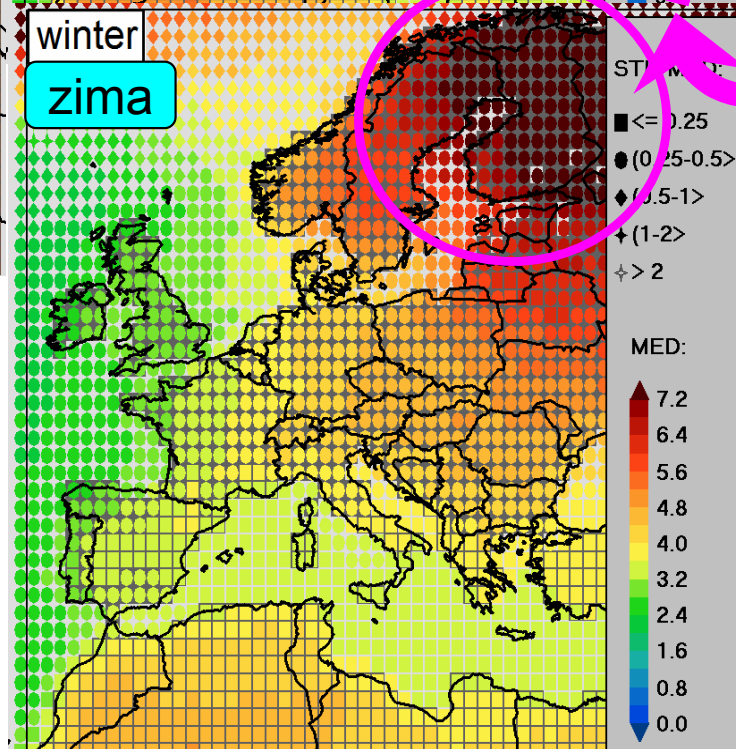
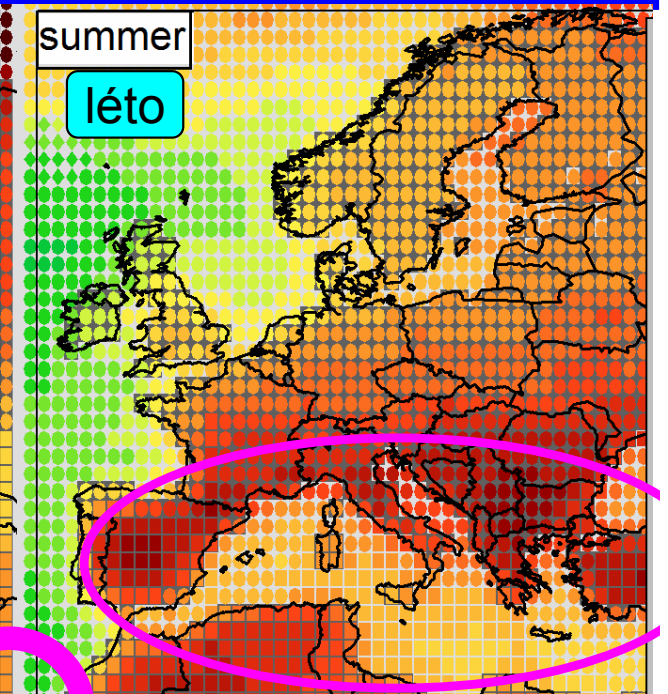
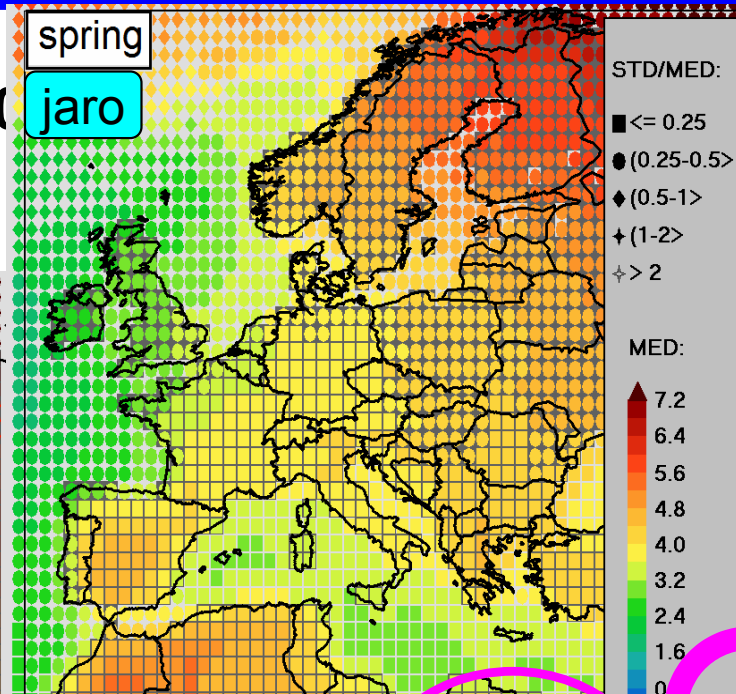
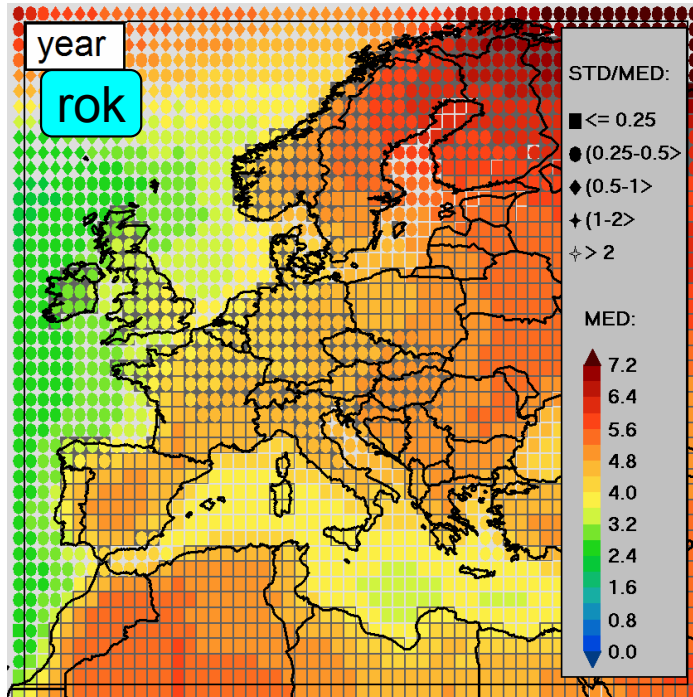
- zima narůst srážek v NE Eu

-změna prům. sezónních teplot [Δ TEMP(seasons)]

RCP85

(2071–2100) vs (1961–90)

40 GCM

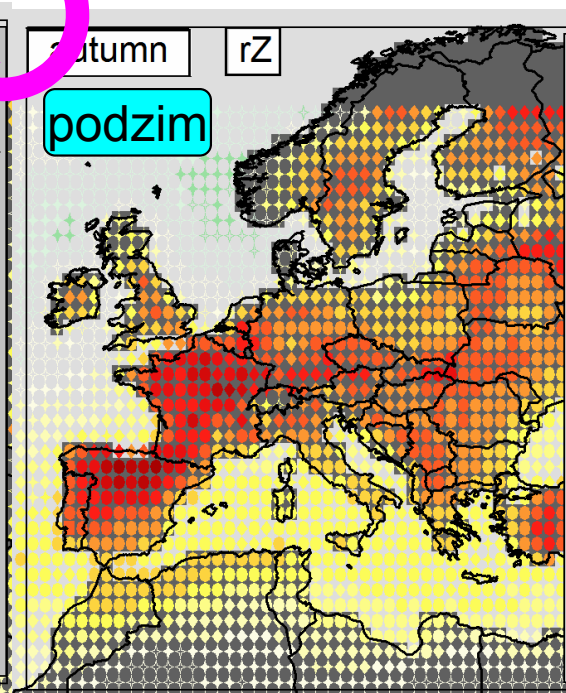
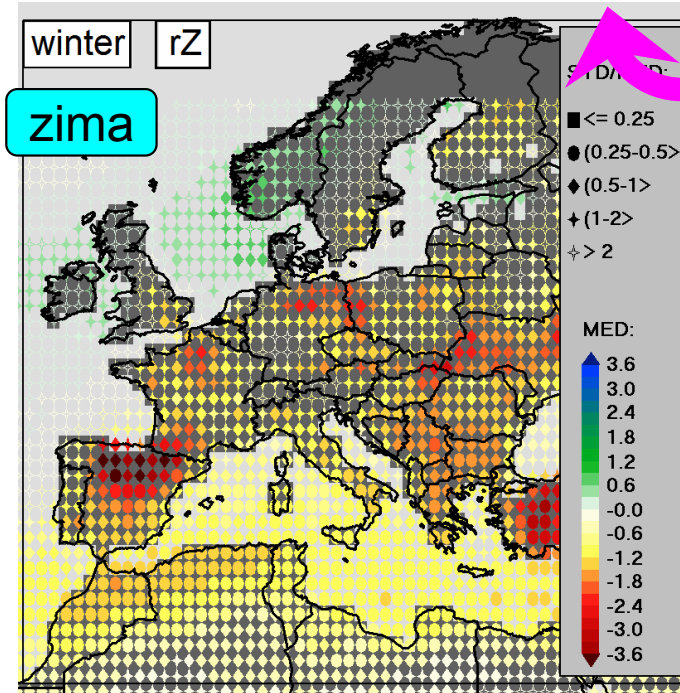
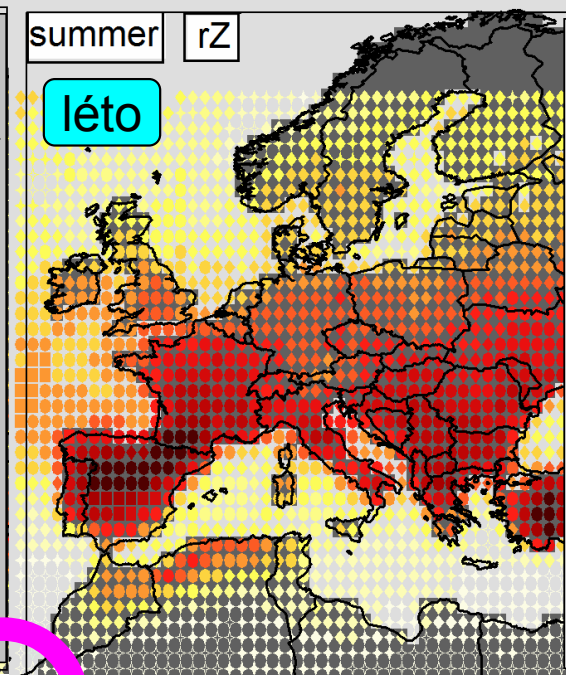
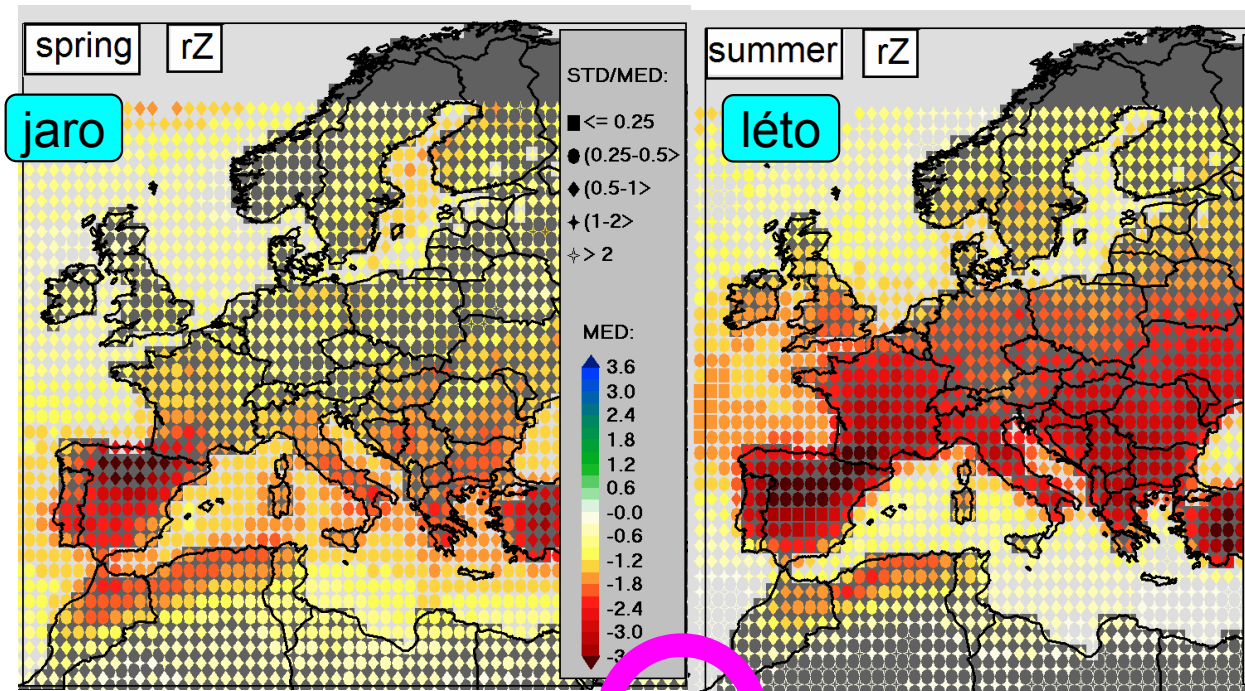
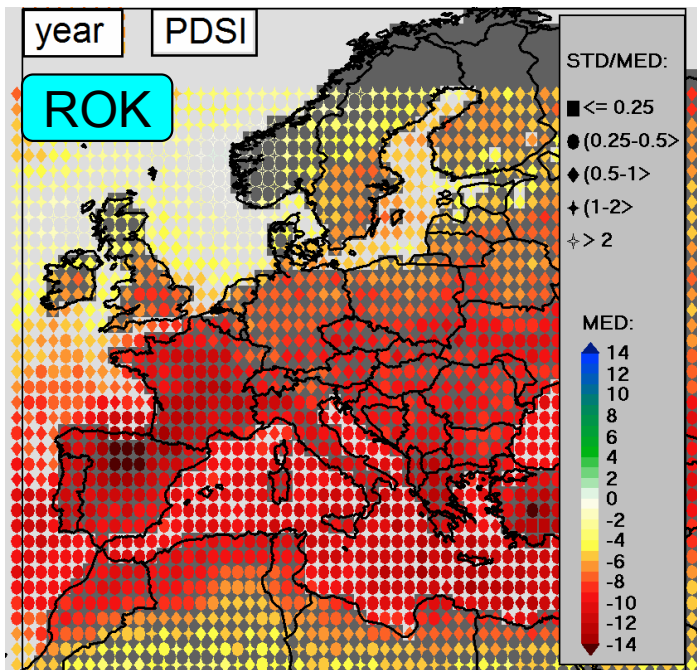


nejistota menší než u P
růst T: všude a po celý rok
(nejvíce: viz. mapy)

-změna prům. hodnot indexů sucha: Δ PDSI, Δ Z

40 GCM x RCP85

(2071–2100) vs (1961–90)



PDSI = Palmeruv index sucha (~
pudni/zemedelske sucho)

$\Pr(-4 < \text{PDSI} < 4) \sim 96\%$

Z ~ nepersistentni meziprodukt PDSI

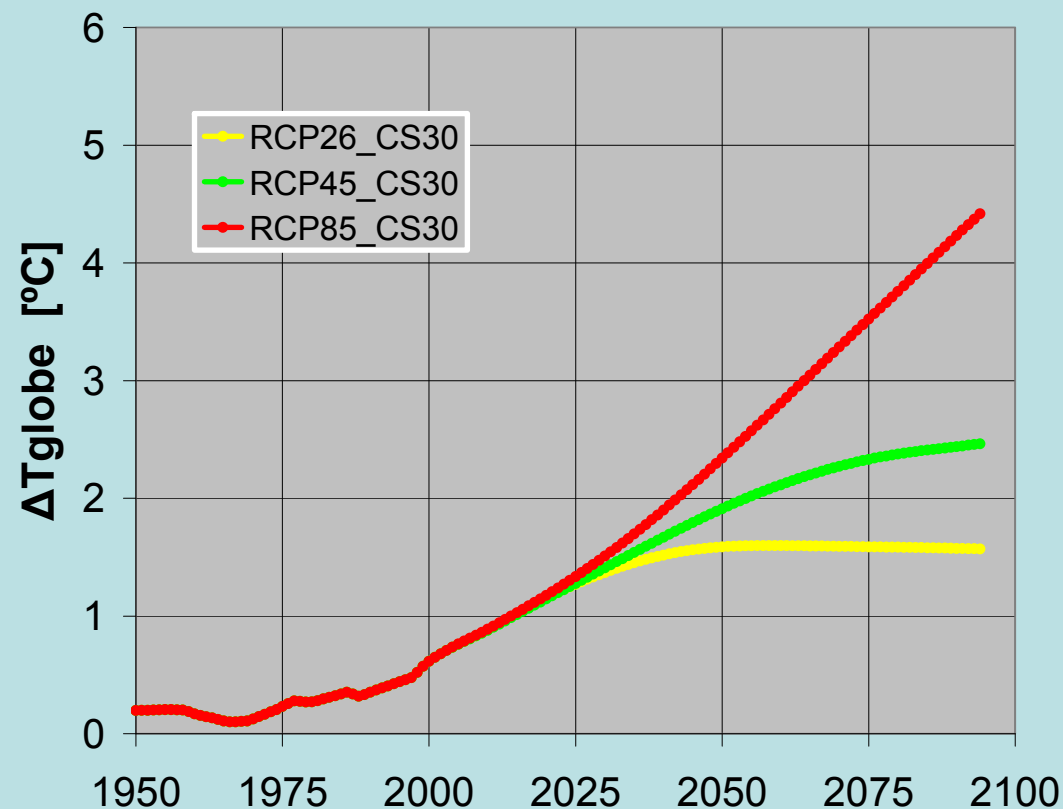
CZ: vyssi riziko sucha po cely rok,
nejvyssi narust v lete a na podzim

EU: nejohrozenejsi oblasti: MED

předchozí mapy platí pro konec 21. století a emisní scénář předpokládající nejvýraznější nárůst koncentrací skleníkových plynů

následující mapy: Jak vypadají scénáře ZK pro jiné emisní scénáře a dříve než koncem století?

nárůst globální teploty pro tři RCP scénáře podle modelu MAGICC



Δ TEMP (léto & zima; 40 GCMs)

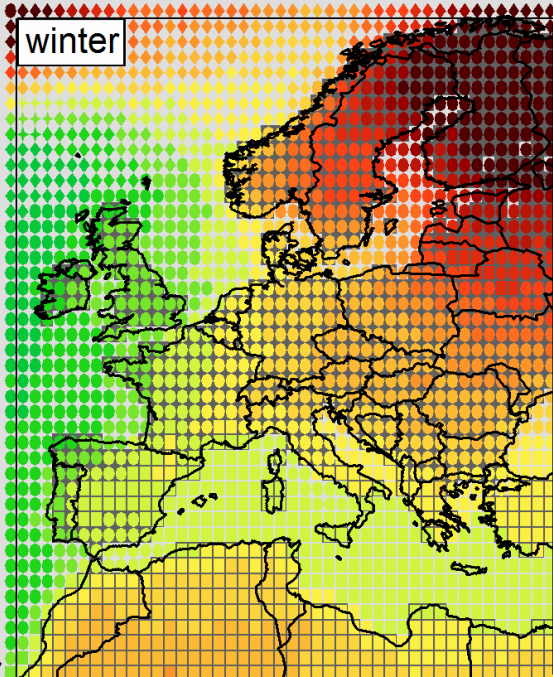
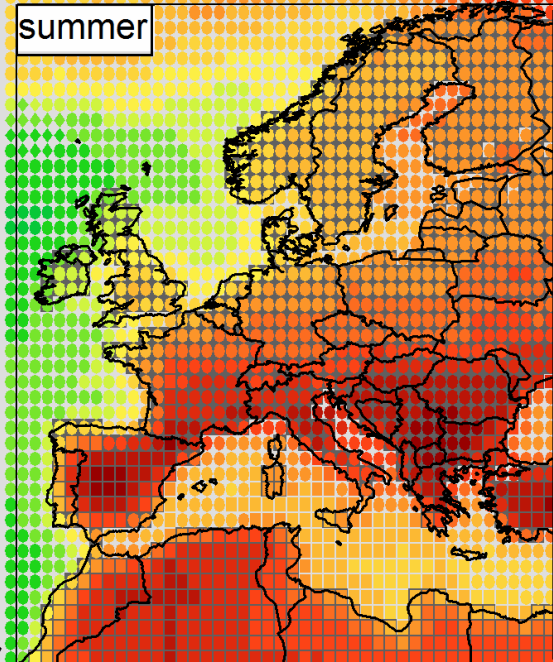
léto

zima

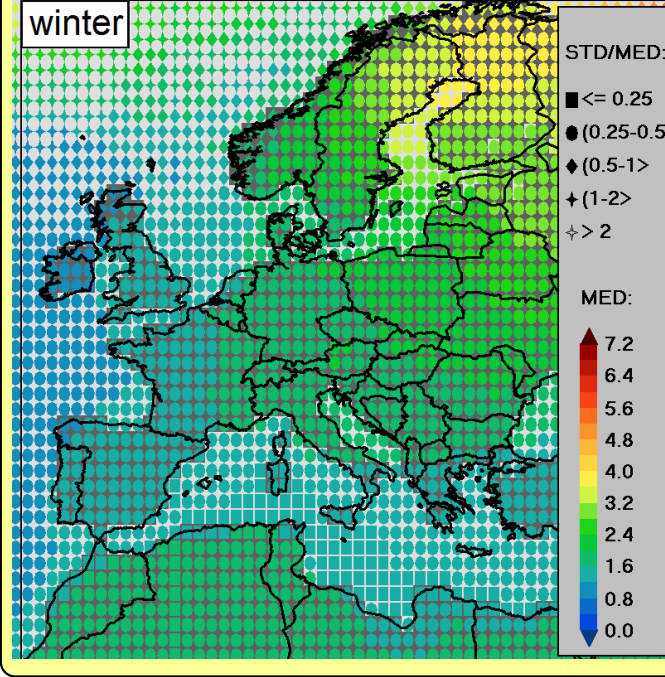
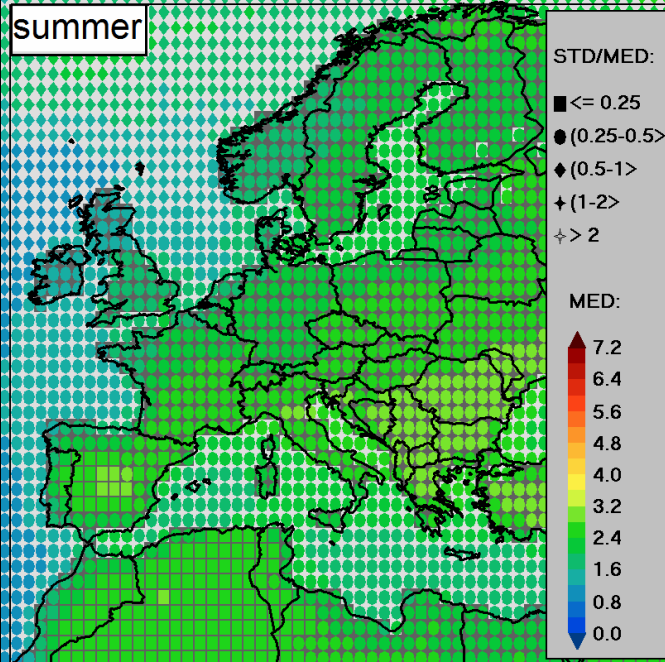
summer [JJA]

winter [DJF]

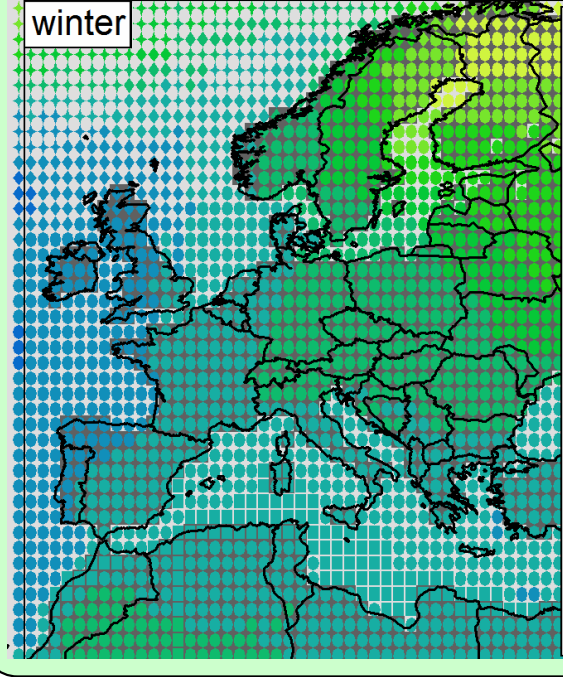
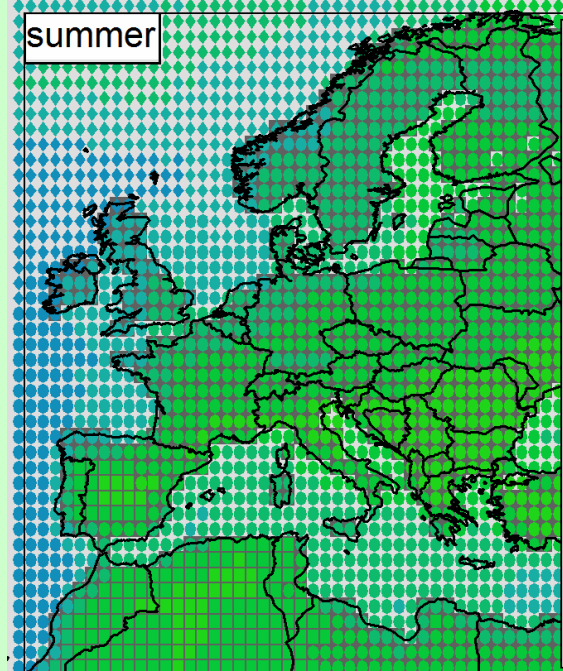
RCP85; (2071-2100) vs REF



RCP85; (2021-2050) vs REF



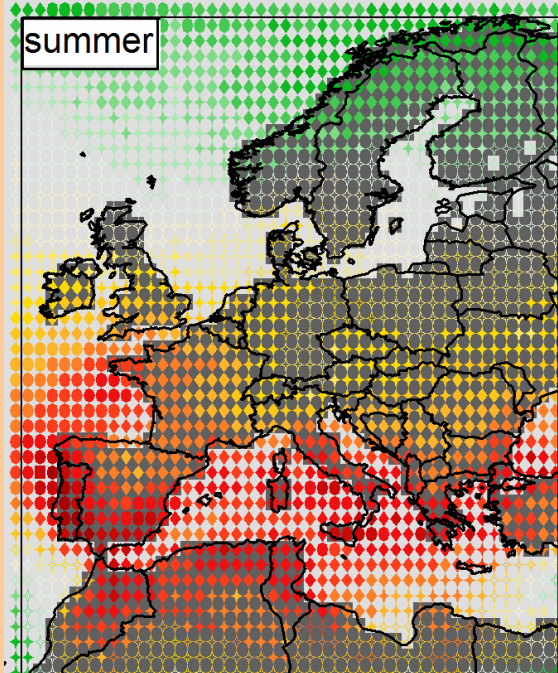
RCP45; (2021-2050) vs REF



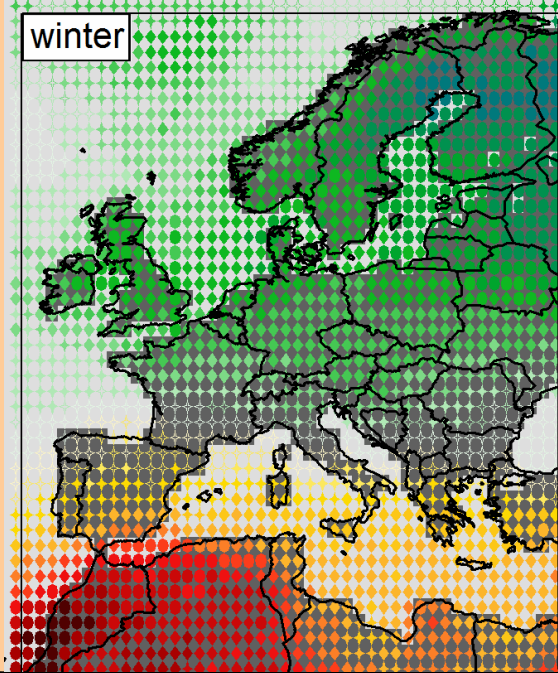
Δ PREC (léto & zima; 40 GCMs)

léto

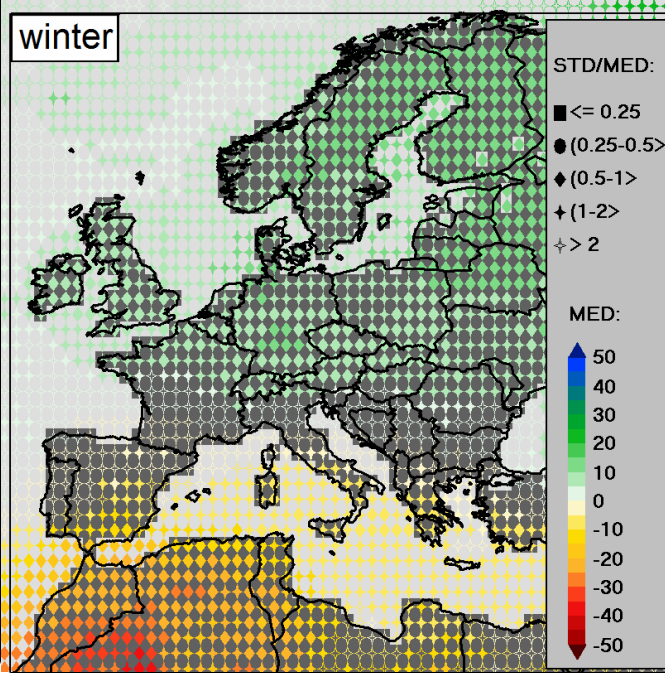
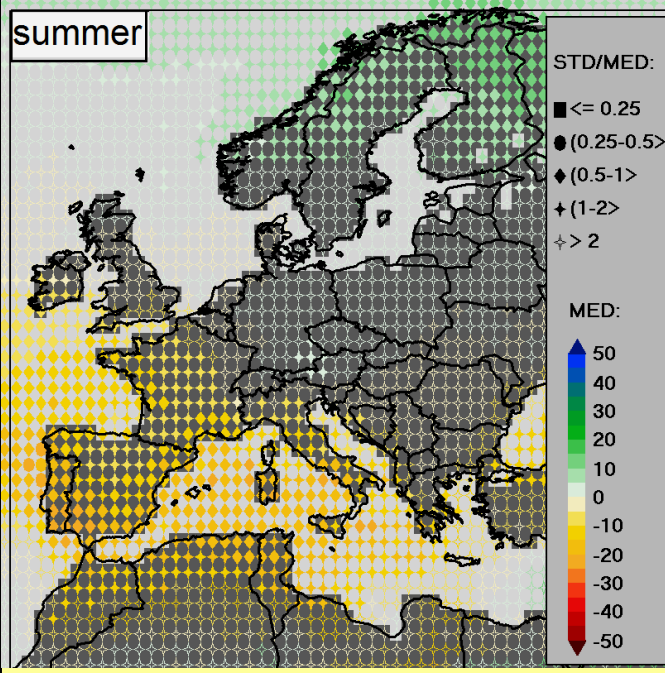
RCP85; (2071-2100) vs REF



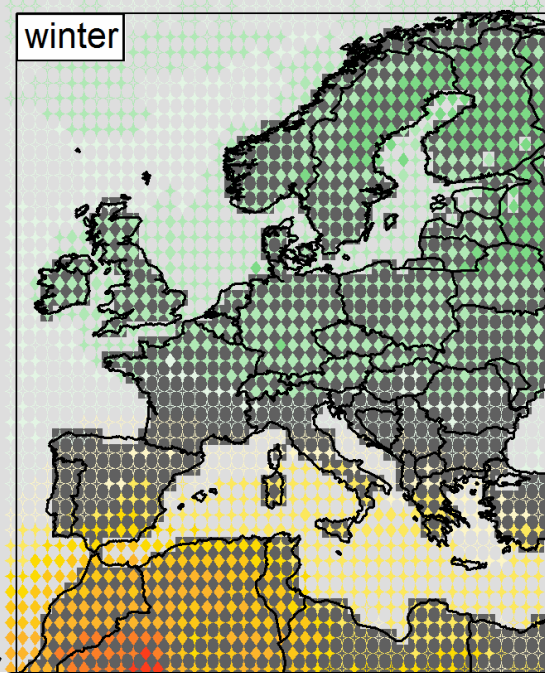
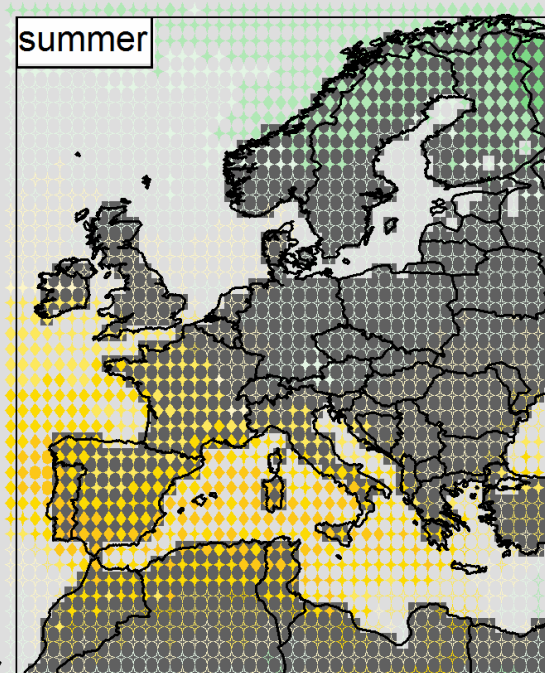
zima



RCP85; (2021-2050) vs REF



RCP45; (2021-2050) vs REF



summer [JJA]

winter [DJF]

ΔZ (léto & zima; 40 GCMs)

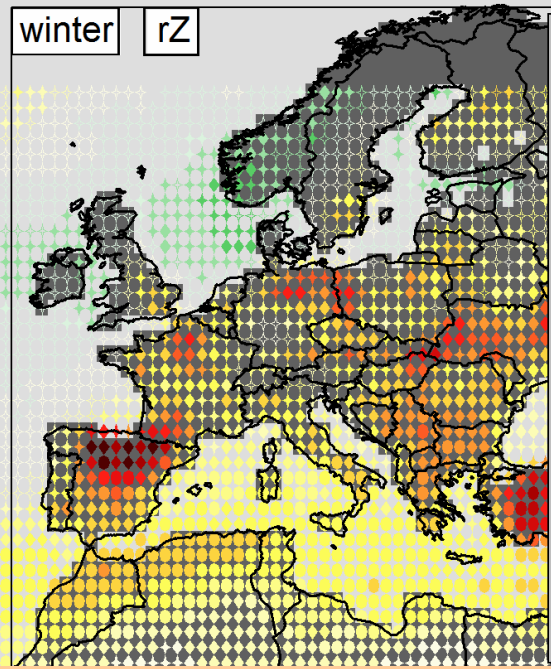
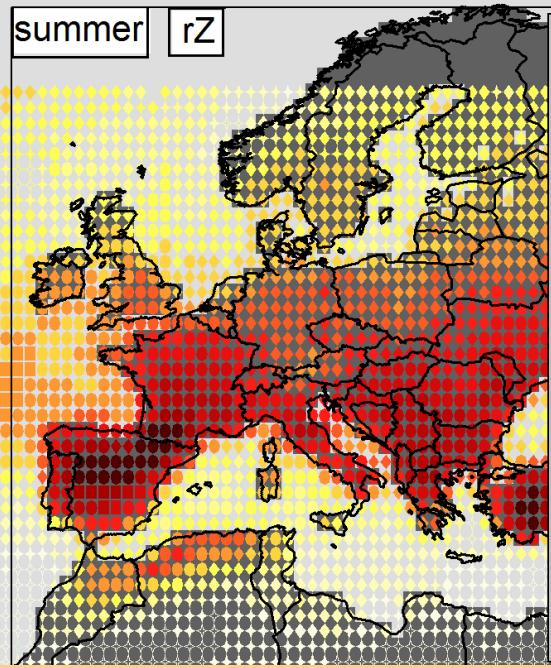
léto

zima

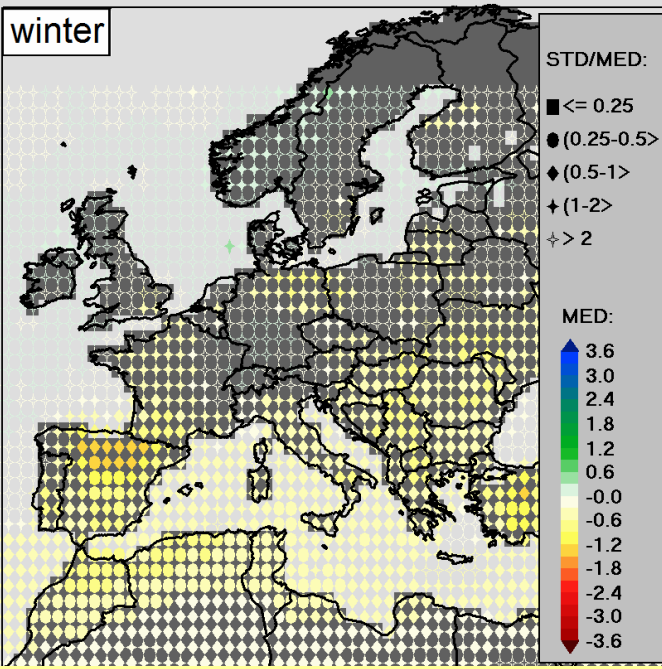
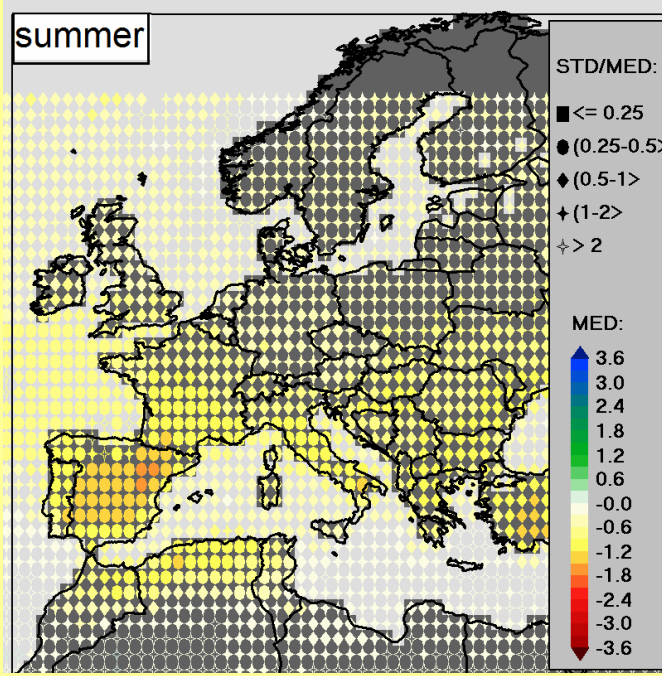
summer [JJA]

winter [DJF]

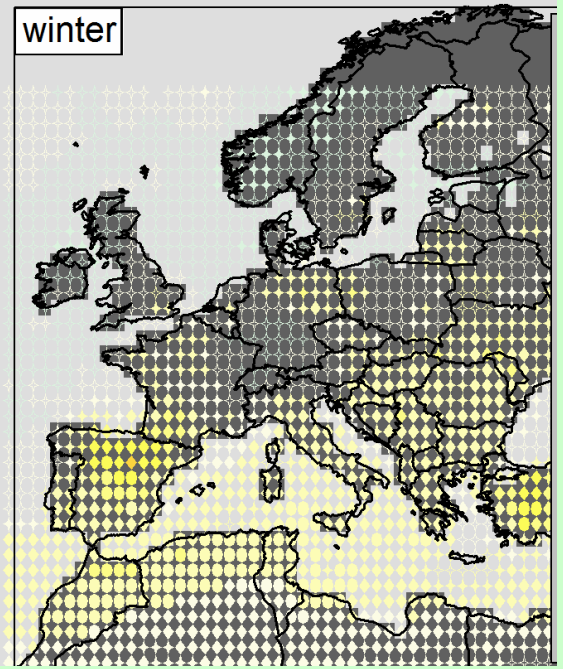
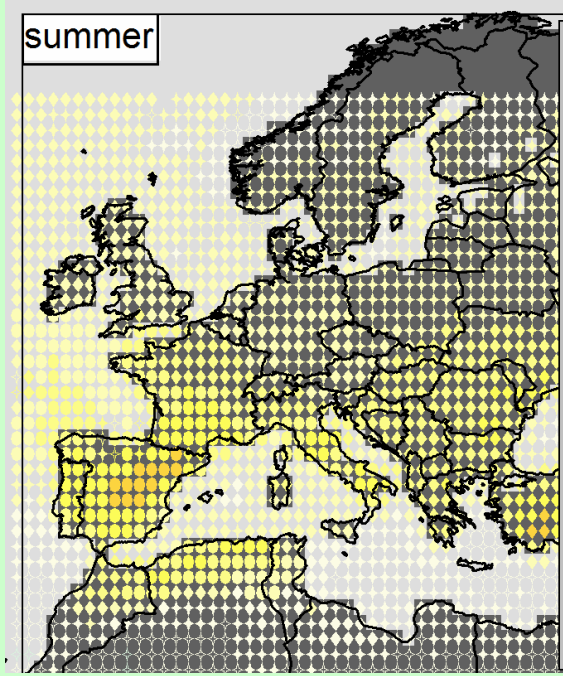
RCP85; (2071-2100) vs REF



RCP85; (2021-2050) vs REF



RCP45; (2021-2050) vs REF



2. Konstrukce reprezentativní sady scénářů pro impaktové studie

Construction of the representative set of climate change scenarios for the climate change impact experiments

motivace: scénáře ZK jsou zatíženy nejistotami z různých zdrojů a kdybychom chtěli v impaktových studiích zohlednit všechny možné kombinace vstupních parametrů, pak bychom měli příliš velké množství scénářů (45 GCM x 3-4 emisní scénáře x 3 klim. citlivosti)

cíl: konstrukce primerené velké sady scénářů ZK, která bude zohledňovat nejistoty konstrukce scénářů z různých zdrojů

meteorologické stochastické generátory a jejich použití pro konstrukci klimatických scénářů

stochastický generátor (WG) = model generující syntetické meteorol. řady statisticky podobné (\sim AVG, VAR, COR, LagCOR, pdf) skutečným řadám

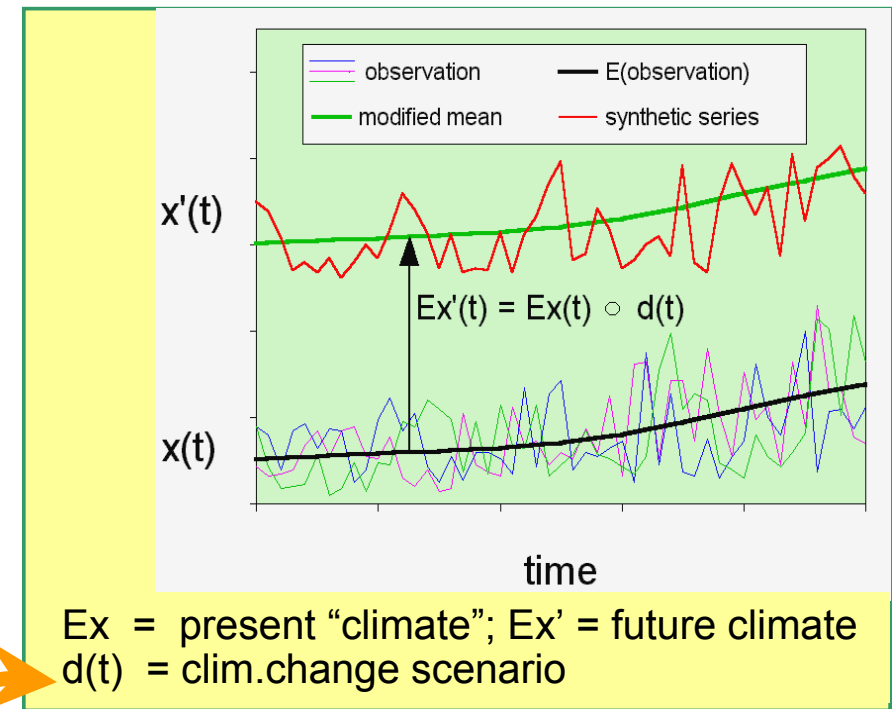
WG \sim autoreg. modely, Markov. řetězce

výhody:

- libovolná délka synt. řad
- lze ho interpolovat
- při aplikaci pro budoucí klima lze modifikovat jeho různé parametry: AVGs, STDs, CORs, PROBs

“WG-friendly” scénáře ZK = scénáře zahrnující změny parametrů (včetně parametrů reprezentujících denní a mezidenní variabilitu) - odvozeny jsou porovnáním WG parametrů odhadnutých z řasových řad simulovaných klimatickými modely (future vs. now)

nevýhoda: žádný model není perfektní rezenací reality



Climate change scenario

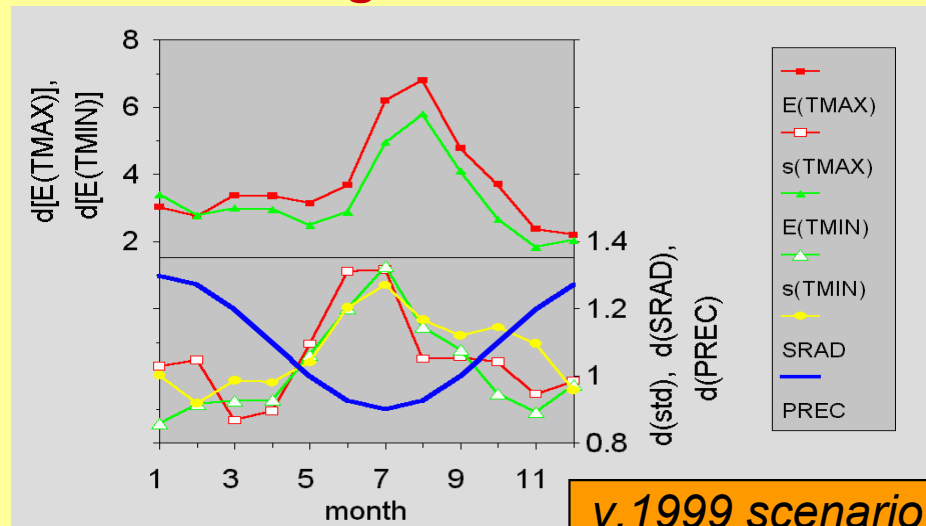


schéma impaktové studie s využitím stochastického generátoru

!!! zohlednění nejistot:

1. emisní scénáře:

RCP2.6, RCP4.5, RCP6, RCP8.5

2. klimatická citlivost = 2, 3, 4.5

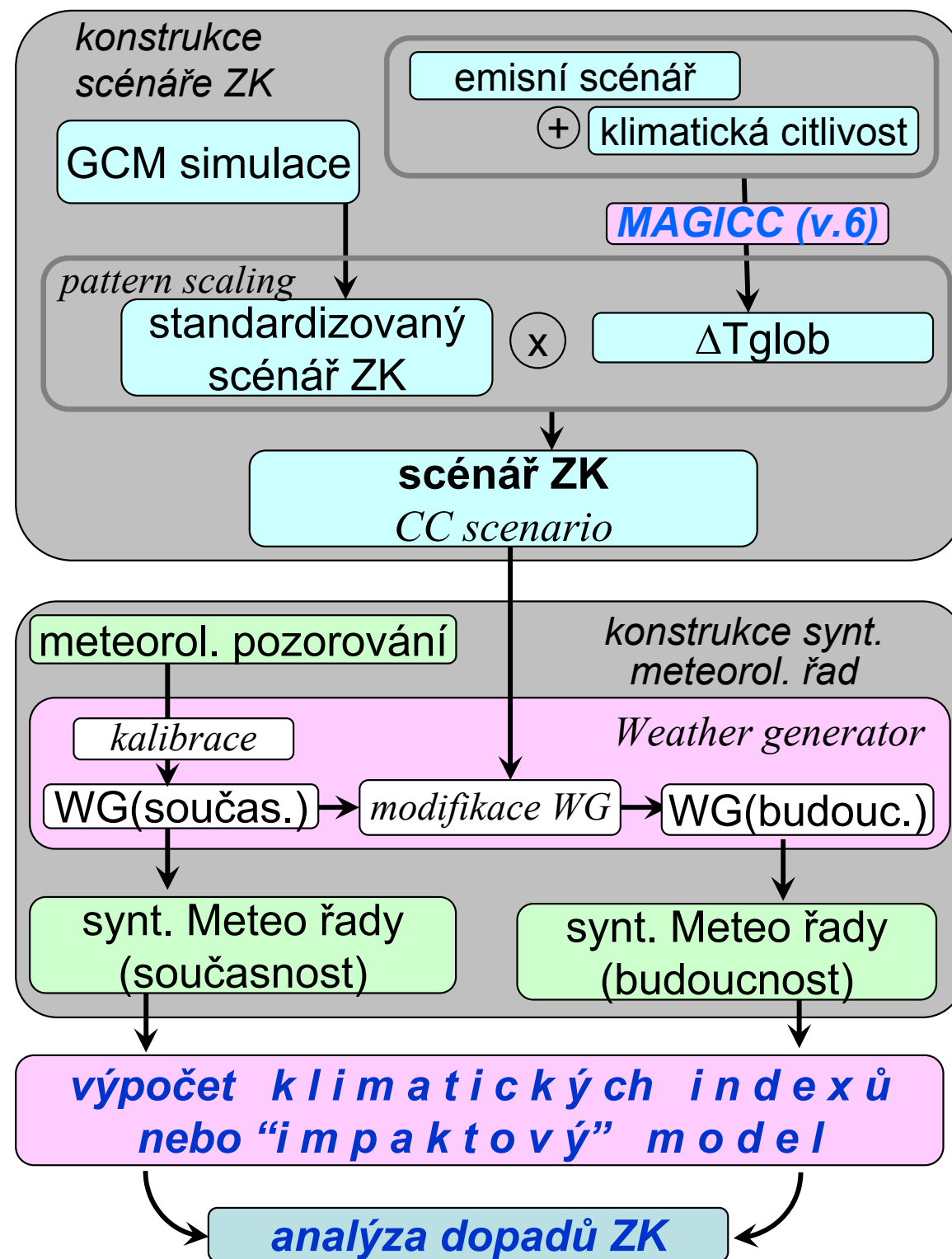
3. výběr GCM:

BEST + CENTRAL + 3diverse

+

4. WG ~ přirozená variabilita klimatu

5. složitost scénáře ZK



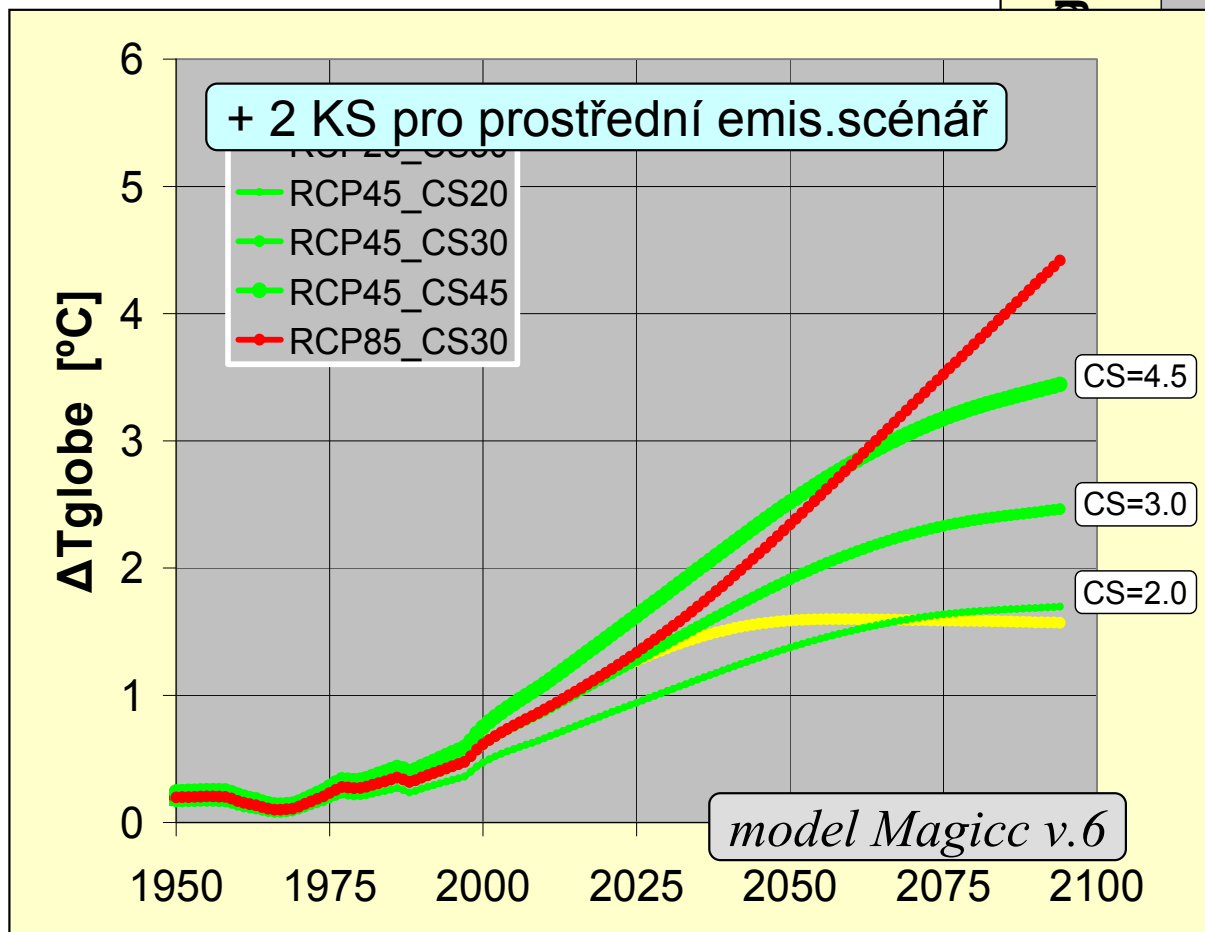
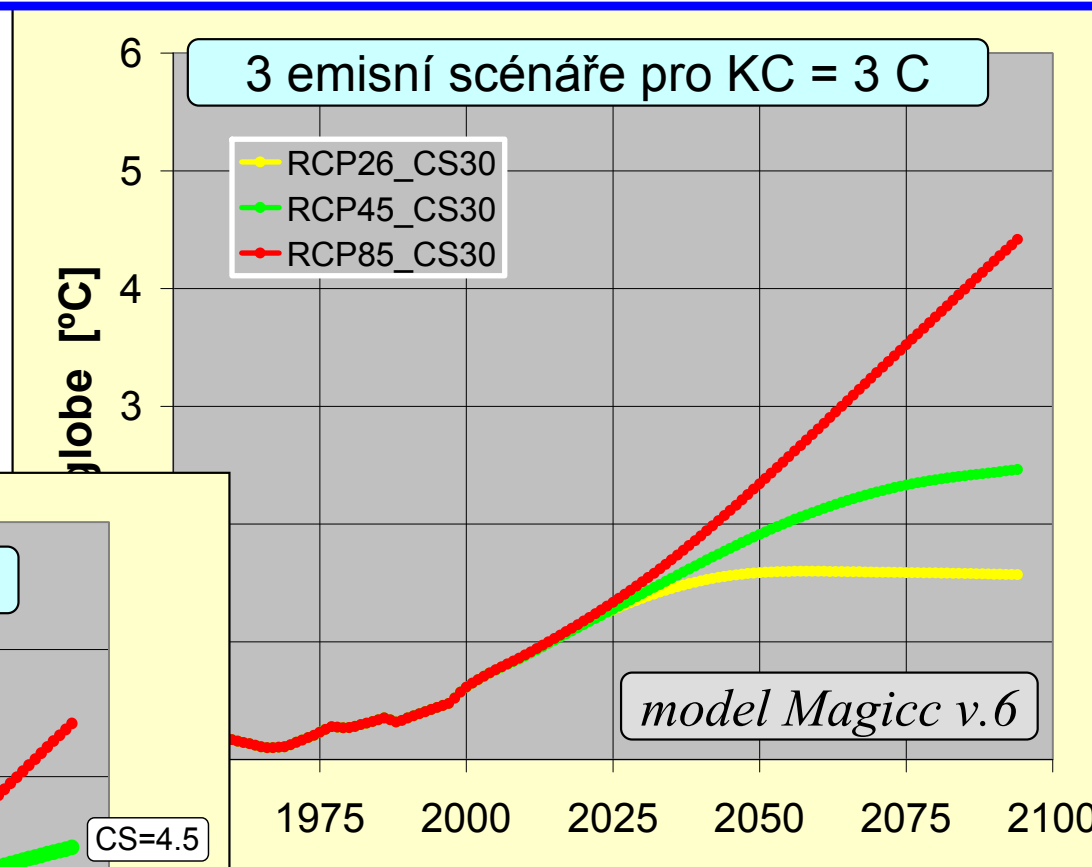
2.1 nejistota odhadu změny globální teploty

3 emisní scénáře:

RCP2.6, RCP4.5, RCP8.5

3 hodnoty klimatické citlivosti:

2 °C, 3 °C, 4.5 °C

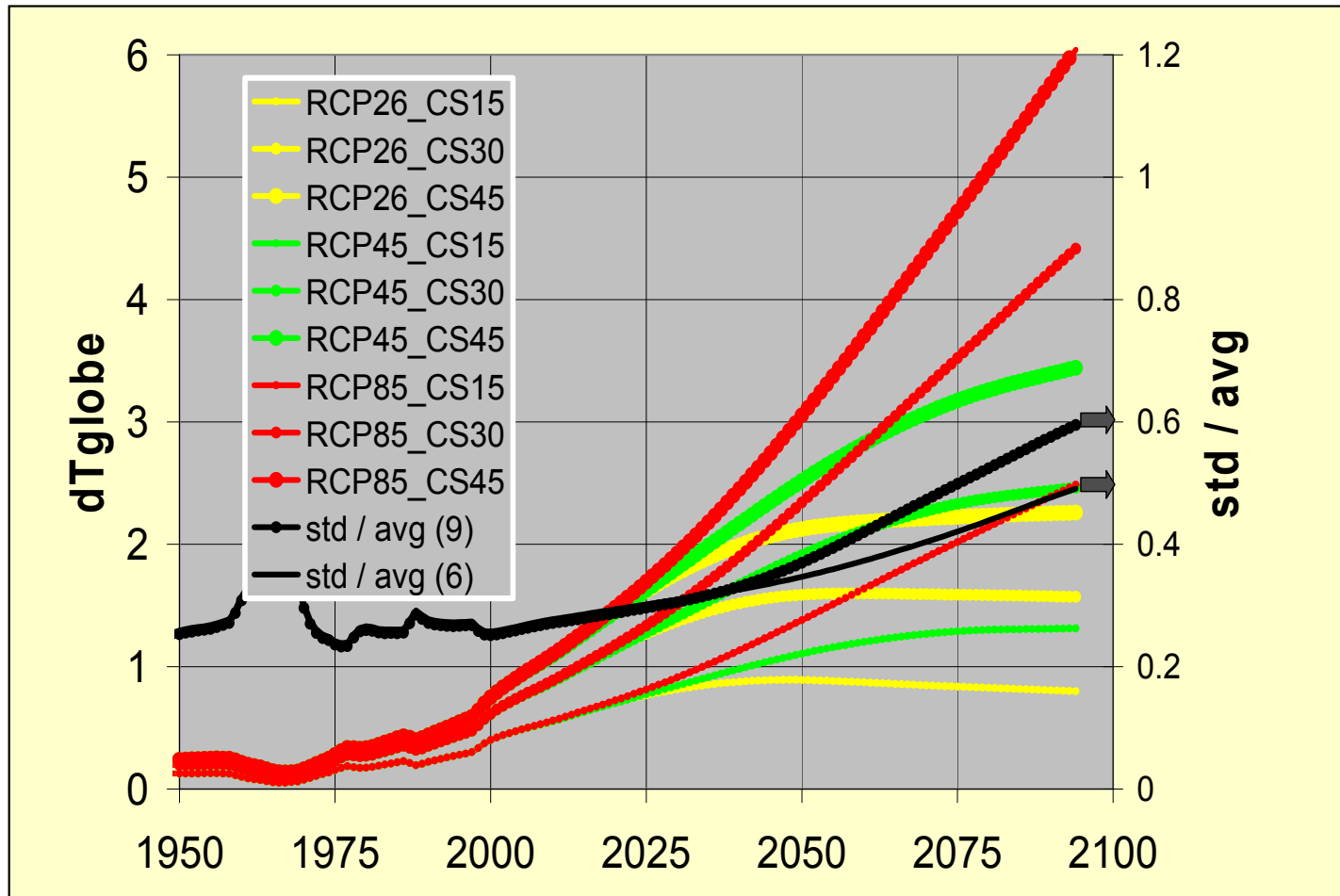


nejistota odhadu změny globální teploty

3 emisní scénáře:

RCP2.6, RCP4.5, RCP8.5

3 hodnoty klimatické citlivosti: 2 °C, 3 °C, 4.5 °C



výběr z 9 možných kombinací : záleží na konkrétním impaktové studii

v našich experimentech bereme obvykle 3: dolní + střední + horní kombinaci

std/avg (dTglobe) ~ 0.3 – 0.6; dTglobe je škálovací faktor v metodě pattern scaling

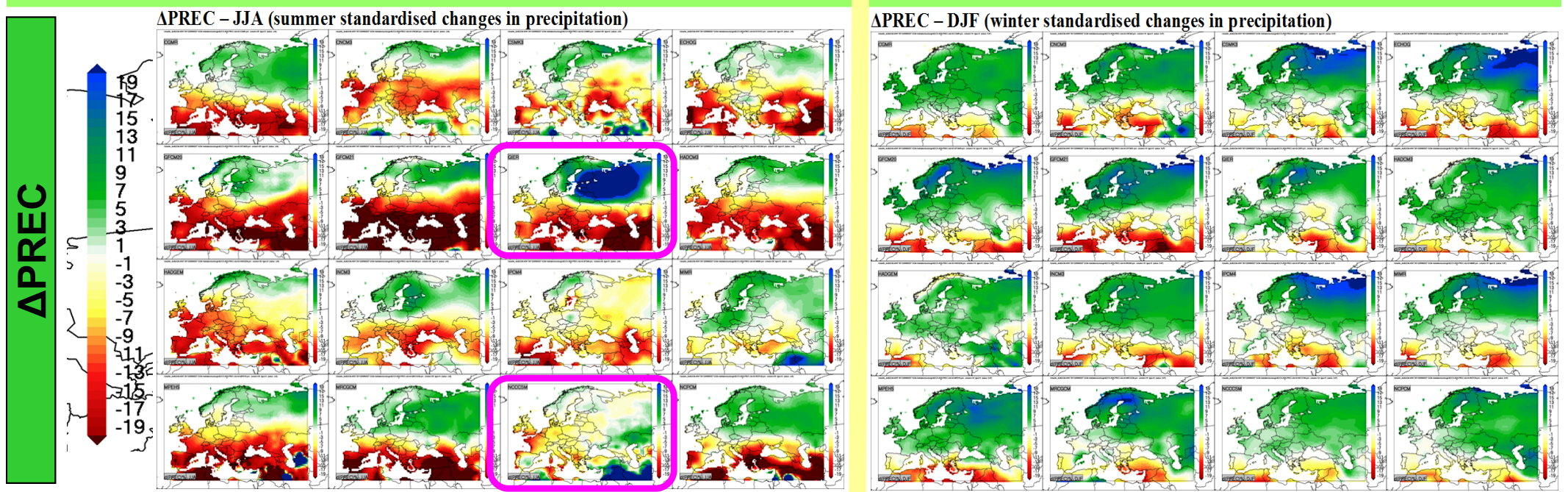
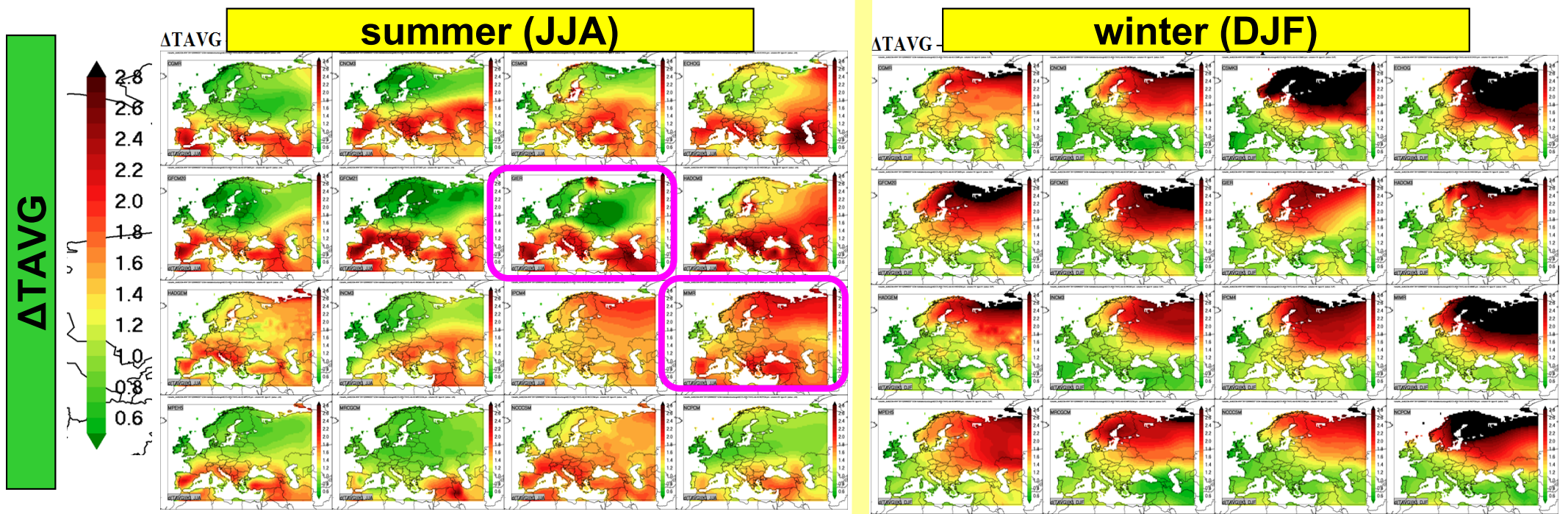
2.2

Mezimodelová variabilita

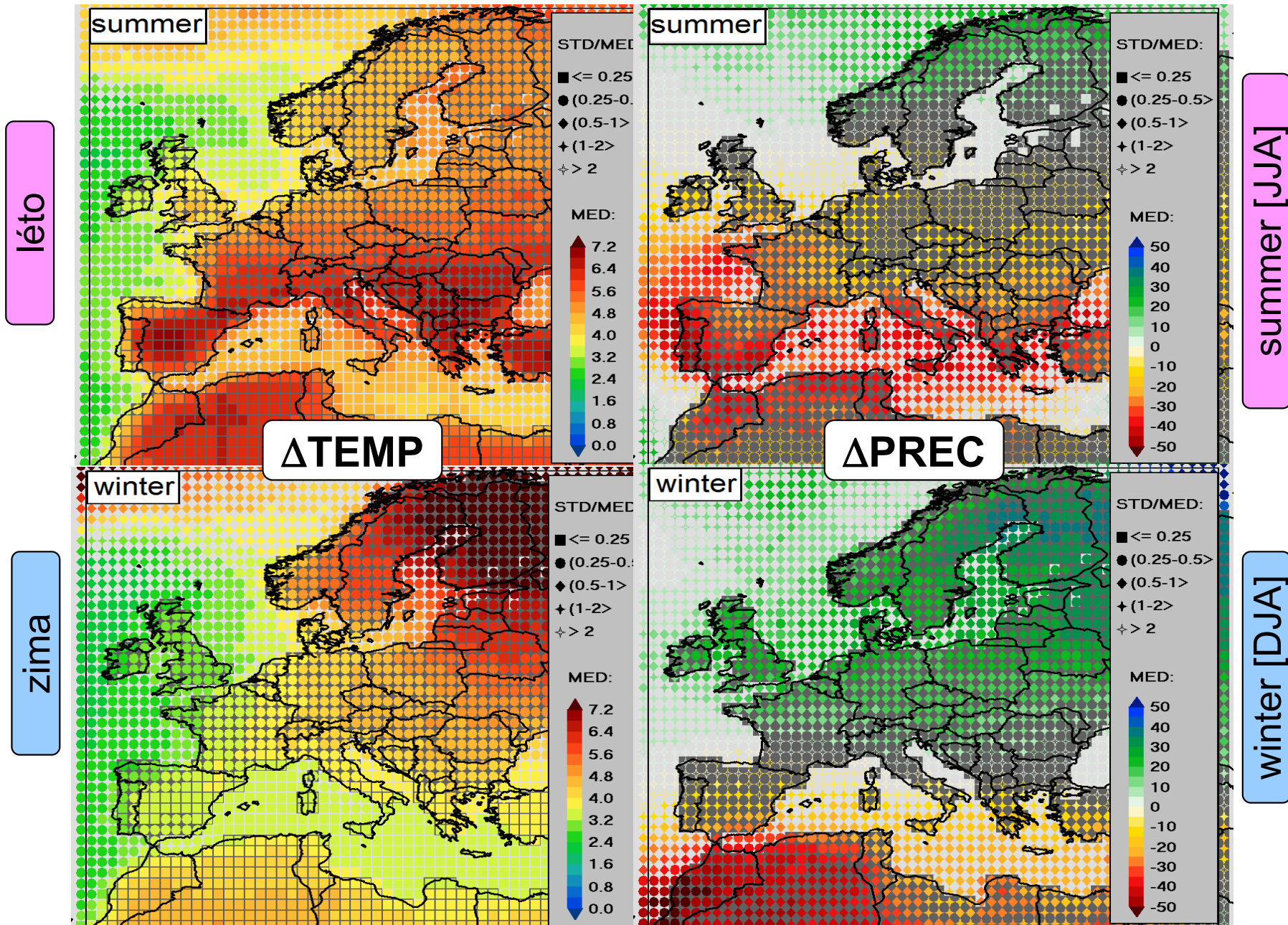
&

výběr reprezentativní sady GCM modelů

GCM-based standardised scenarios (CMIP3 dataset)



Multi-GCM scénáře [40 GCMs z CMIP5; RCP85; (2071-2100) vs REF]



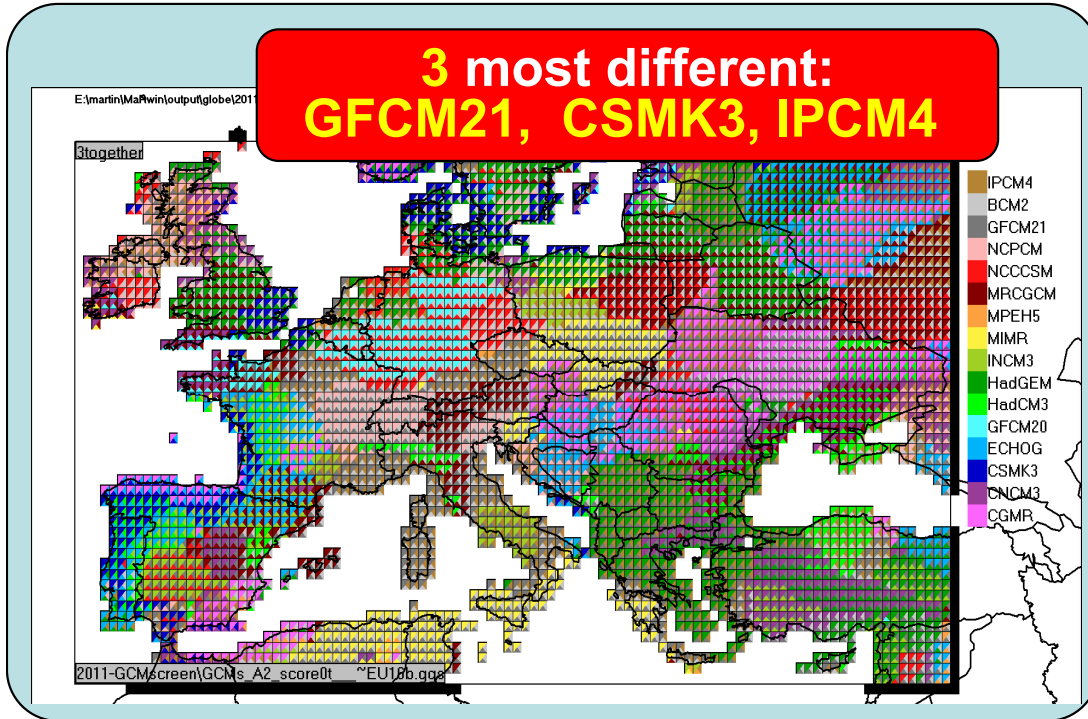
kosočtverce a menší symboly:

mezimodelová variabilita je vyšší než nejistota v projekci globalni teploty

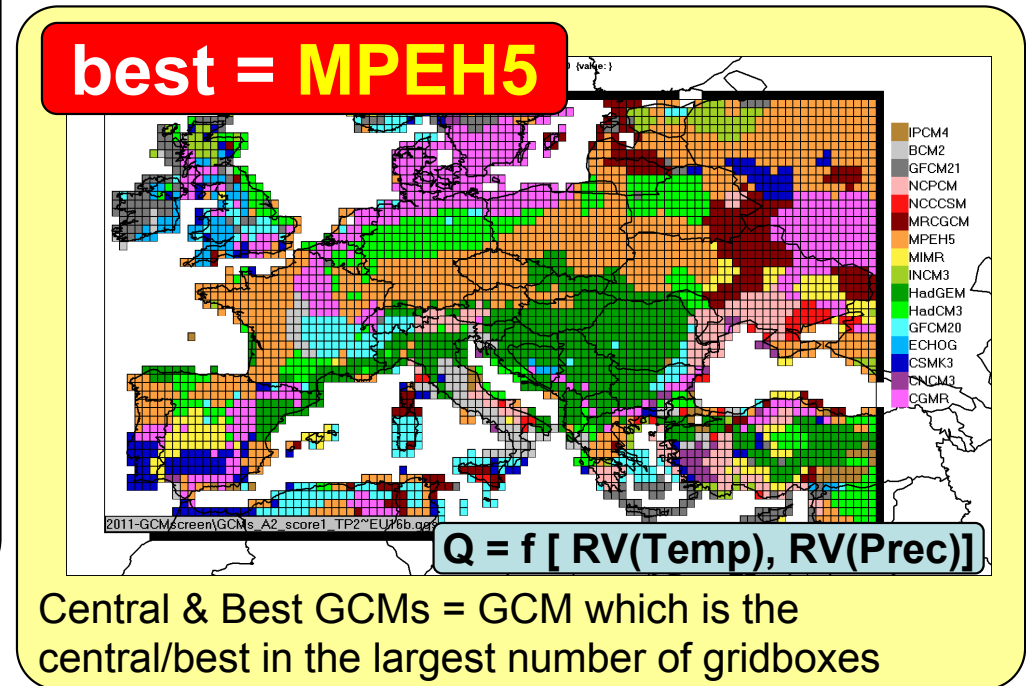
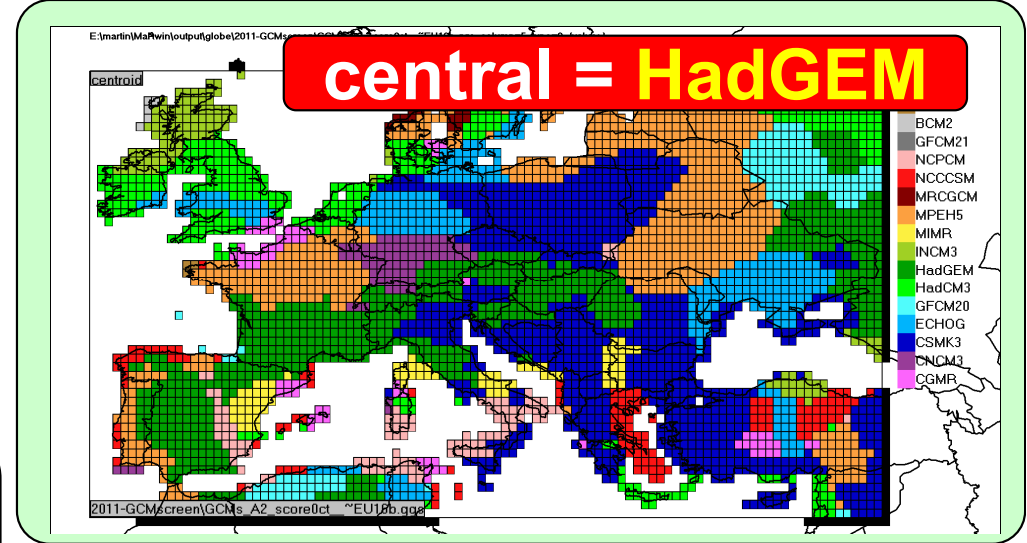
reprezentativni sada GCM modelů (z CMIP3)

(Dubrovsky et al, 2015; Clim Change)

vstup: standardizované scénáře z
16GCM; SRES-A2 emise



(3799 0.5° x 0.5° land grid boxes)



Central & Best GCMs = GCM which is the
central/best in the largest number of gridboxes

EU: MPEH5 (best) + HADGEM (central) + [GFCM21, CSMK3, IPCM4]

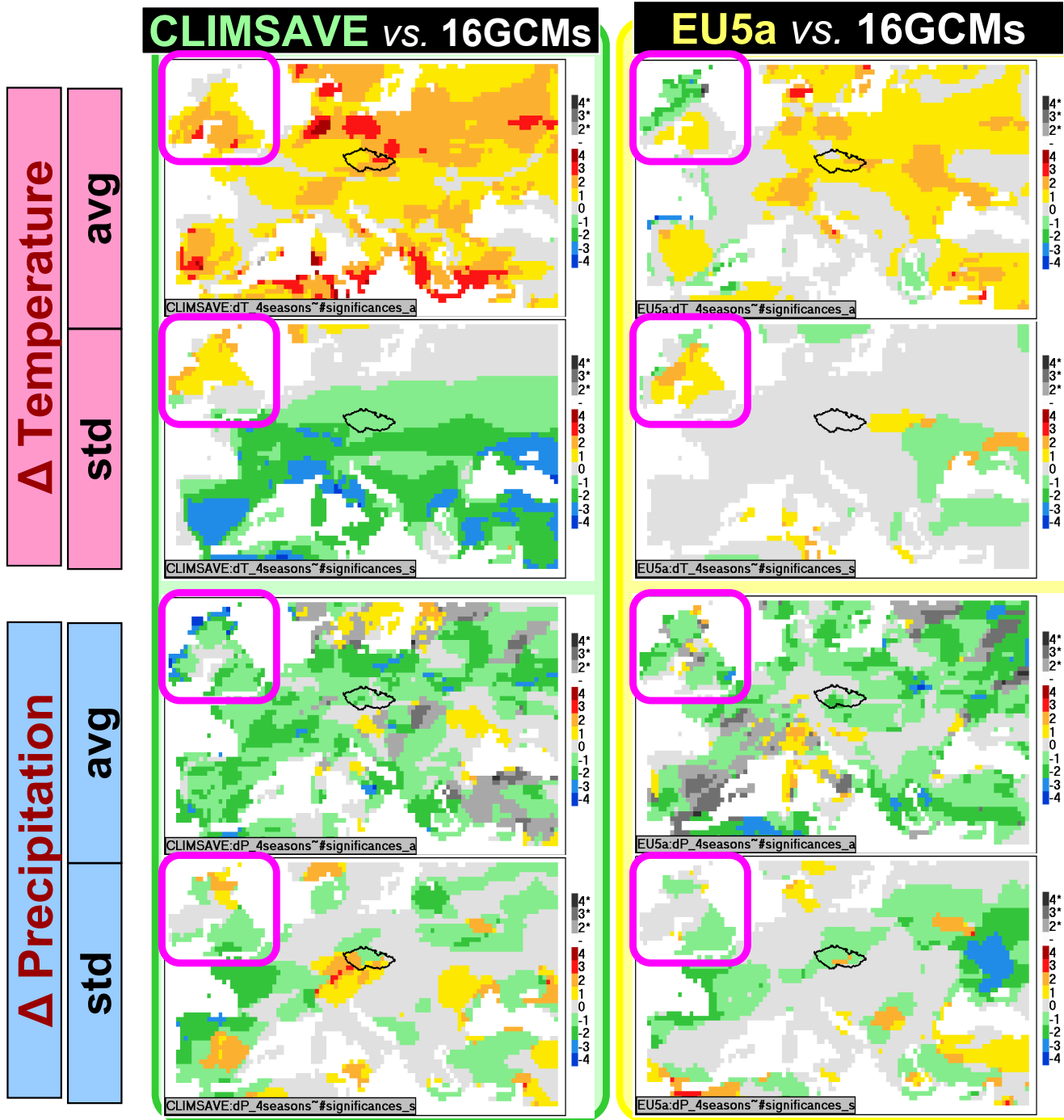
CZ: MPEH5 (best) + CSMK3 (central) + [CGMR, GFCM21, IPCM4]

CZ (CMIP5): IPSL-CM5A-MR, HadGEM2-ES, CNRM-CM5, BNU-ESM, MRI-CGCM3

validation of 2 GCM subsets

#significant differences in AVGs and STDs (subset vs 16GCMs)

CLIMSAVE project



whole Europe:

- **CLIMSAVE** subset
 - overestimates avg(Δ TEMP)
 - underestimates std(Δ TEMP)
- **EU5a** performs better
 - both TEMP and PREC
 - both AVG and STD

insignificant difference:

$$A_{16G}^{-1/2}S_{16G} < \text{avg}_{\text{subset}} < A_{16G}^{+1/2}S_{16G}$$

$$2/3S_{16G} < \text{std}_{\text{subset}} < 3/2.S_{16G}$$

“WG friendly climate change scenarios”

(scénáře ZK, jež jsou “kompatibilní” s WG)

motivace: zohlednění (v studiích zaměřených na dopady ZK) změn nejen průměrů, ale i variability (i mezidenní), případně i korelací mezi proměnnými, prostorových korelací a parametrů pravděpodobnostního rozdělení proměnných.

co to je: scénáře ZK, které zahrnují změny výše uvedených statistických charakteristik a jež jsou zároveň parametry generátoru (a tedy snadno použitelné k modifikaci generátoru a následnému generování řad reprezentujících změněné klima),

jak se odvodí: provnáním WG parametrů odvozených z řad simulovaných GCM (či RCM) pro budoucí vs. současné klima

$\Delta WG_{par} - Temp$

Data:

- meteo řady: **stanice z EC&D**
- scénáře ZK: **9 GCM z CMIP3**

Mapy:

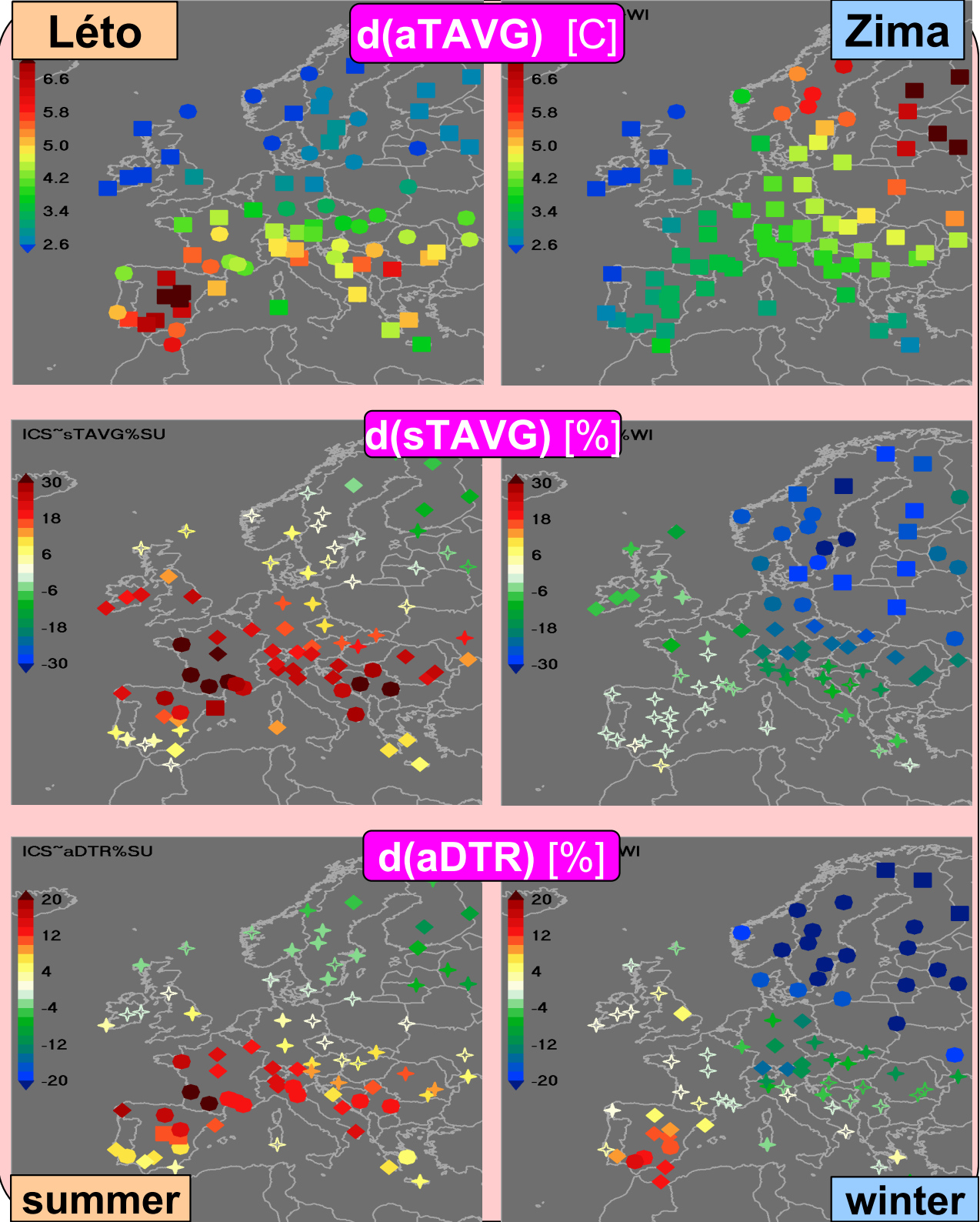
- **Léto** v J.EU: **aTAVG** ↗ + **sTAVG** ↗ + **aDTR** ↗
→ **Tmax** ↗

- **Zima** v SV.EU: **aTAVG** ↗ + **sTAVG** ↘ + **aDTR** ↘ >>>
→ **Tmin** ↗

STD / MED	
■	<= 0.25
●	(0.25-0.5>
◆	(0.5-1>
✦	(1-2>
✧	> 2

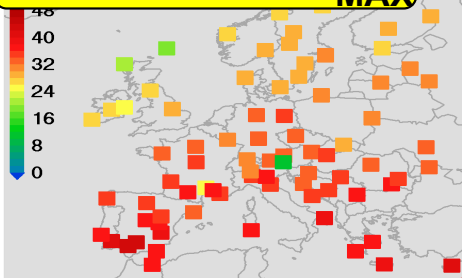
good inter-GCM fit

*GCM uncertainty >
 ΔT_{glob} uncertainty*

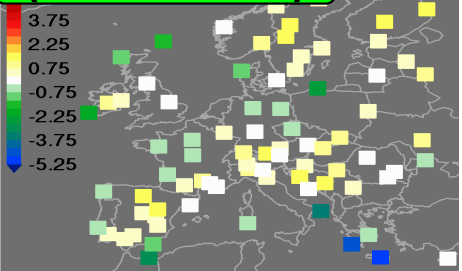


TX_{MAX} [= average annual max(Tmax)]

OBServed TX_{MAX}

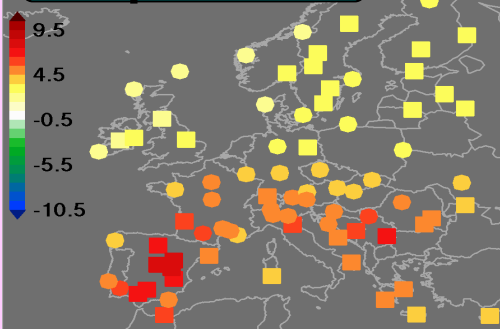


(WG - OBS)

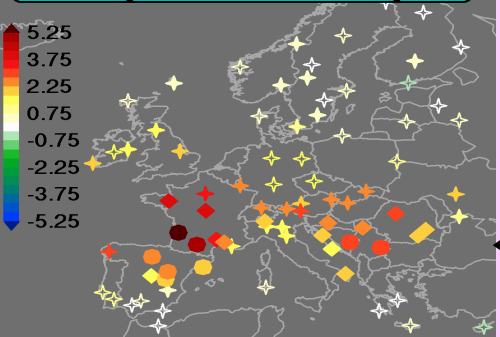


1. WG bias (\sim WG - OBS): negative-insignificant-positive
2. CC impacts: - positive (most significant in S EU)
- mostly larger (but not everywhere!) than WG bias
3. effect of (inter)diurnal variability: significantly positive within 45-50°N belt
4. Inter-GCM variability is smaller than ΔT_{glob} uncertainty

simple scen.



complex vs. simple



CC impacts

(complex scenario = simple scen. + changes in (inter)diurnal variability)

Q = Inter-GCM variability

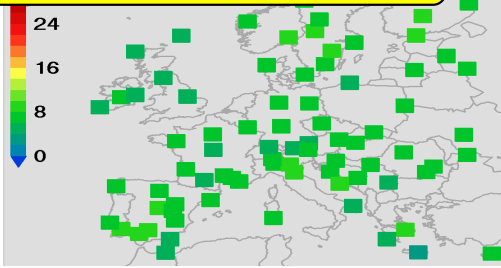
(compare with dT_{globe} uncertainty \sim 0.5)

Q = STD / AVG

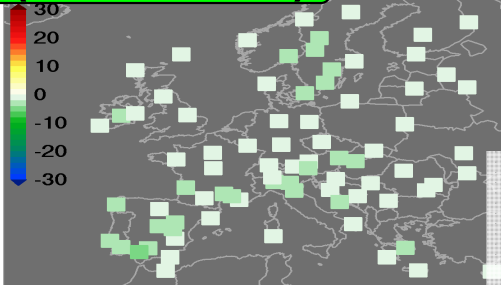
- $Q \leq 0.25$
- $0.25 < Q \leq 0.5$
- ◆ $0.5 < Q \leq 1$
- ✦ $1 < Q \leq 2$
- ✧ $2 < Q$

effect of **changes in (inter)diurnal variability**

Observed HotSpell



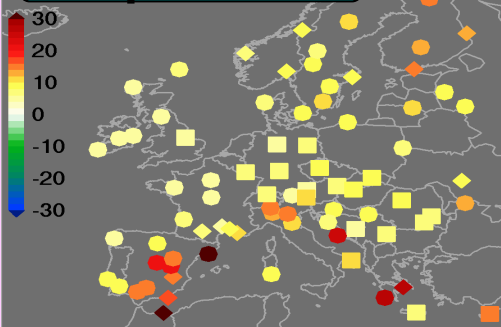
(OBS - WG) bias



$L_{\max}(\text{HotSpell})$ (annual longest hot spell)

1. WG bias ($\sim \text{WG} - \text{OBS}$): WG spells are shorter
2. CC impacts: - positive (most significant in S EU)
- mostly larger (but not too much!) than WG bias
3. effect of (inter)diurnal variability: significantly positive within 40-45°N belt; negative in NE Eu
4. Inter-GCM variability is smaller than ΔT_{glob} uncertainty

simple scen.



CC impacts

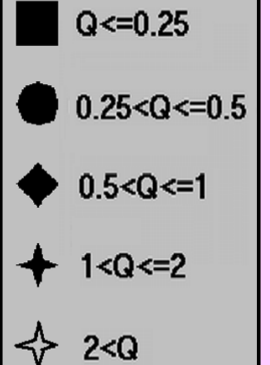
(complex scenario = simple scen. + changes in (inter)diurnal variability)

impacts related to "simple" CC scenario

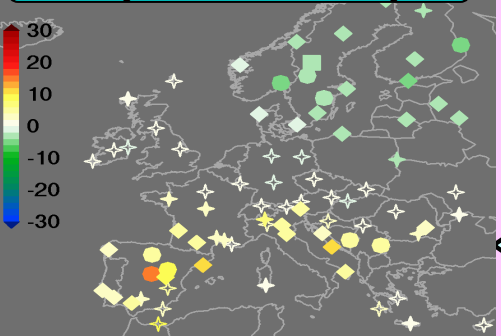
$Q = \text{Inter-GCM variability}$

(compare with dT_{globe} uncertainty ~ 0.5)

$Q = \text{STD} / \text{AVG}$

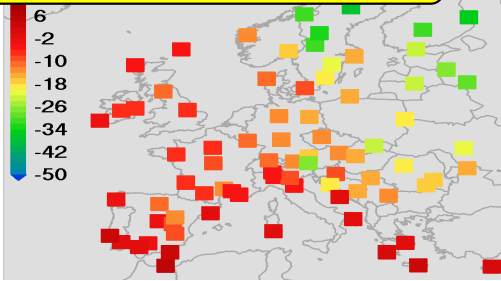


complex vs. simple



effect of **changes in (inter)diurnal variability**

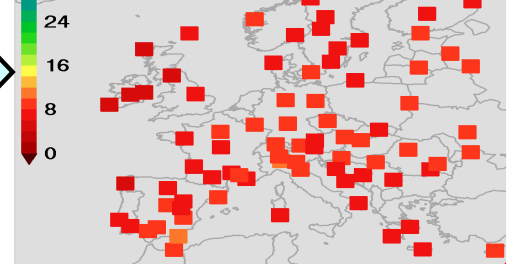
Observed TNmin



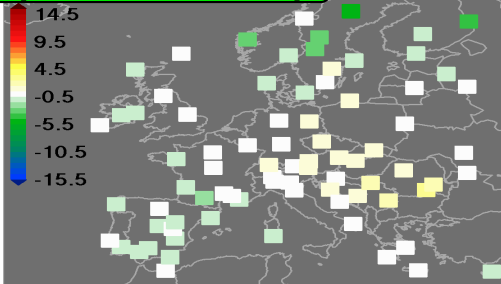
TN_{MI} [average annual $\min(T_{min})$]

Δ [annual longest cold spell]

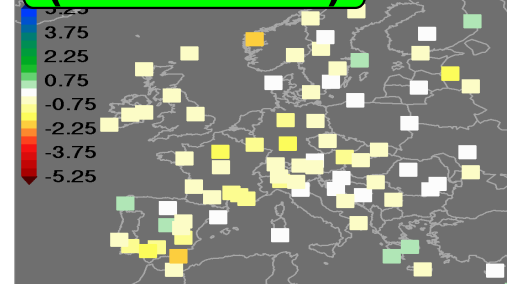
Obs. Lx(ColdSpl)



(OBS - WG)



(OBS - WG)



1. WG bias

- TNmin mostly lower in WG
- WG-based spells are shorter

2. CC impacts: significant

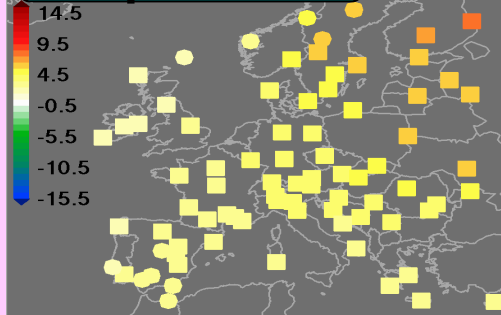
- TNmin \nearrow > **WG bias**
- Cold spells \searrow > **WG bias**

3. effect of (inter)diurnal variability:

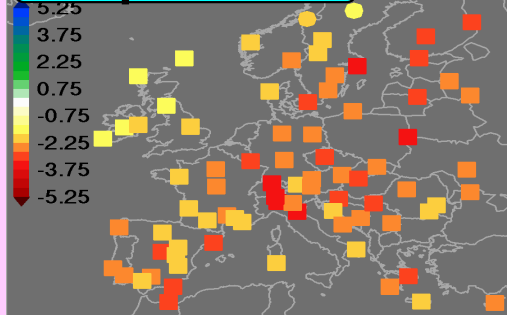
- TNmin: significantly positive in NE Eu
- cold spells: small effect

4. Inter-GCM variability < ΔT_{glob} uncertainty

simple scen.

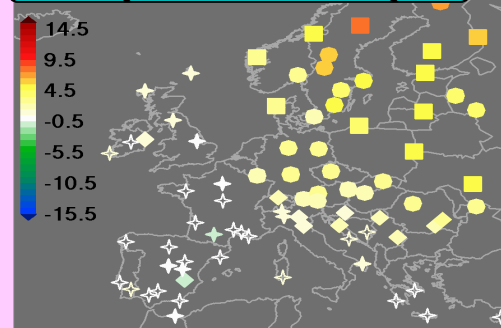


simple scen.



impacts related to "simple" CC scenario

complex vs. simple



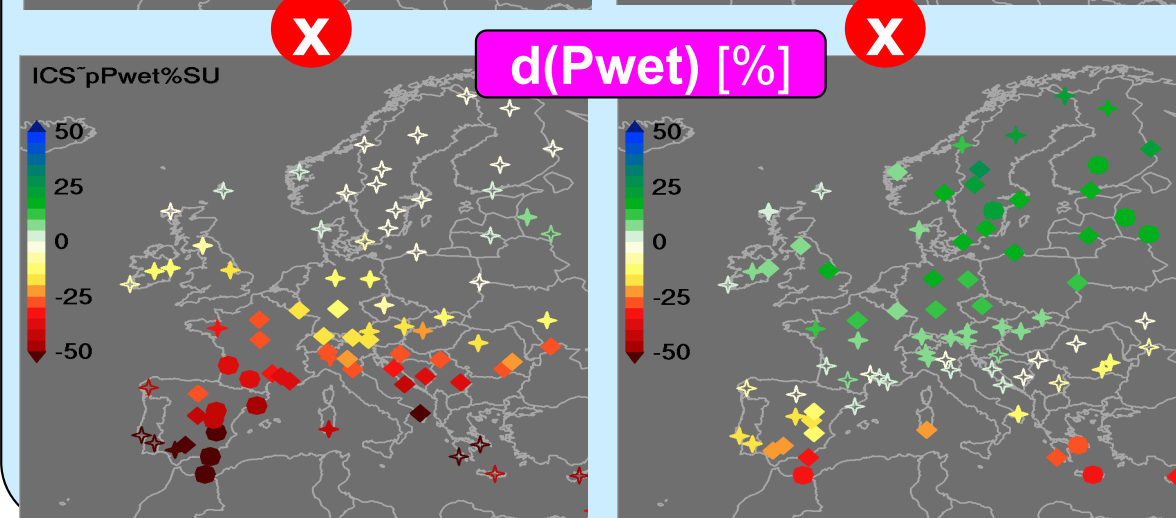
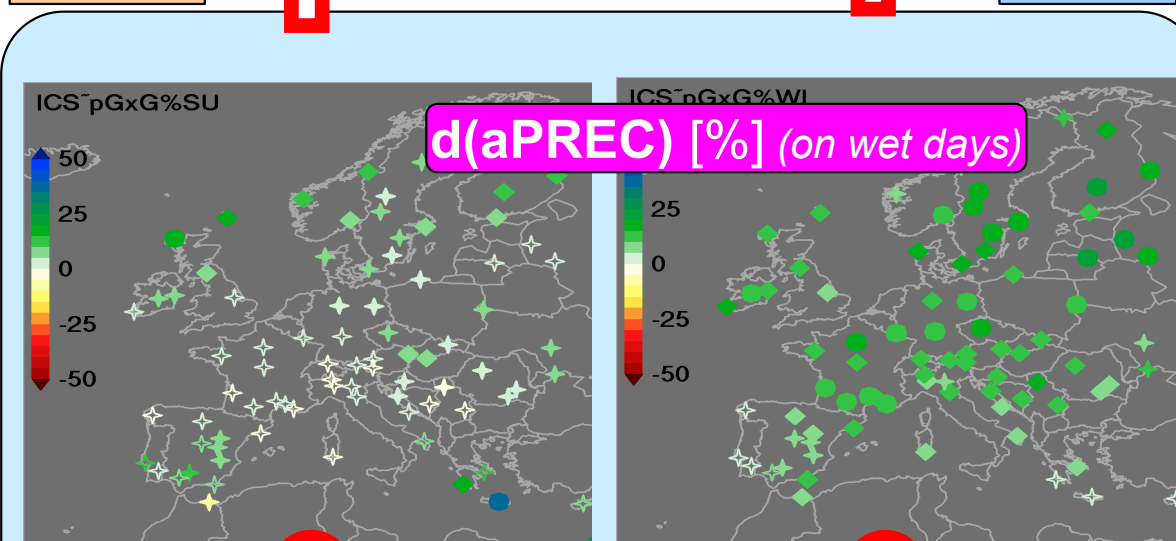
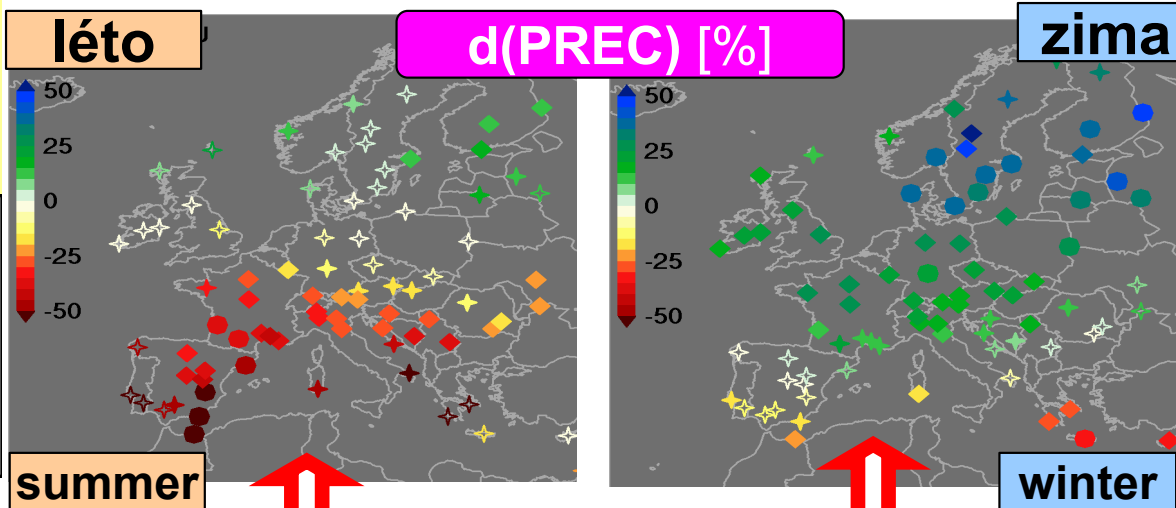
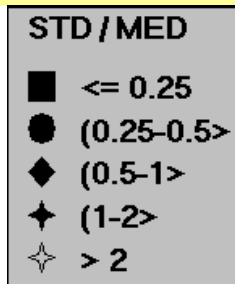
complex vs. simple



effect of **changes in (inter)diurnal variability**

PREC

(2 hlavní parametry WG)



léto J. EU: PREC ↓

důsledkem Pwet ↓

zima SV. EU: PREC ↑

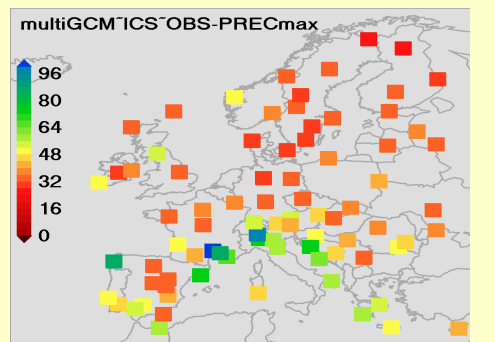
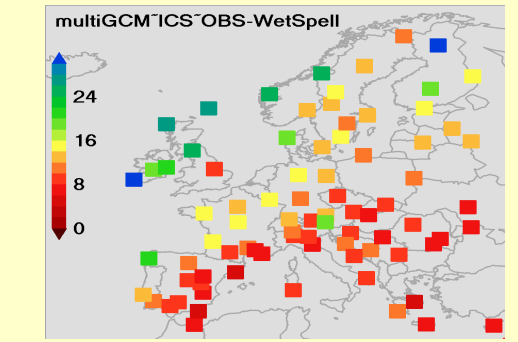
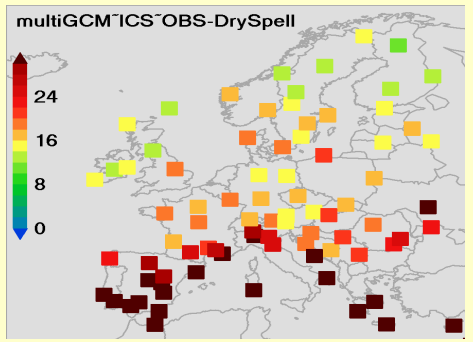
důsledkem aPREC ↑ i Pwet ↑

L_{max} (DrySpell)

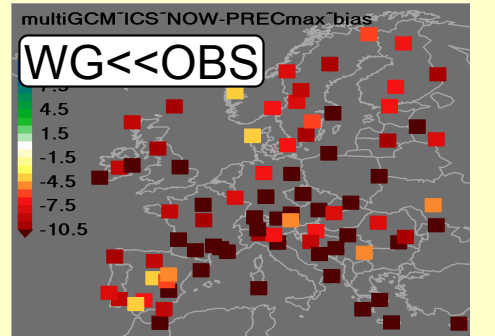
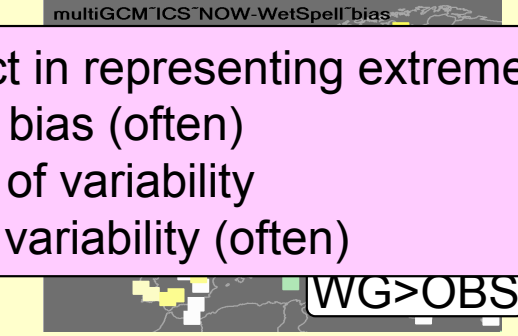
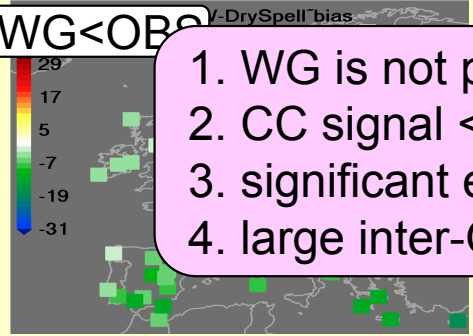
$\Delta[L_{max}$ (WetSpell)]

$\Delta[PR_{max}]$

OBS

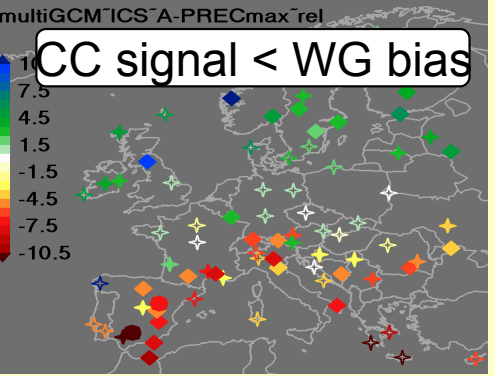
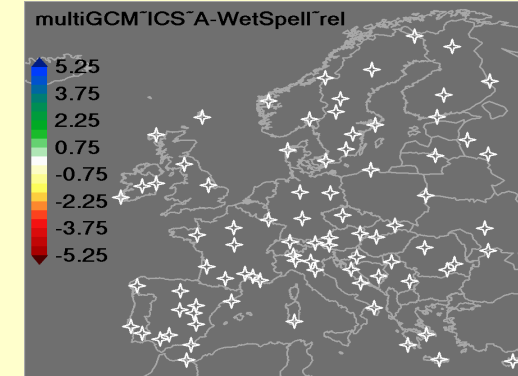
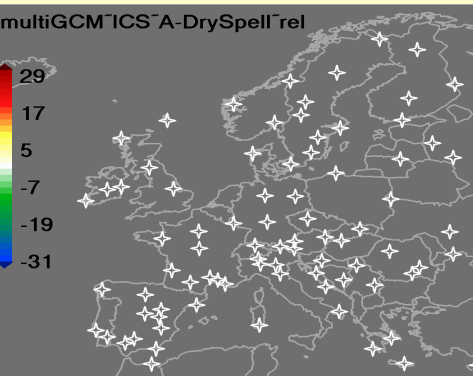


WG - OBS

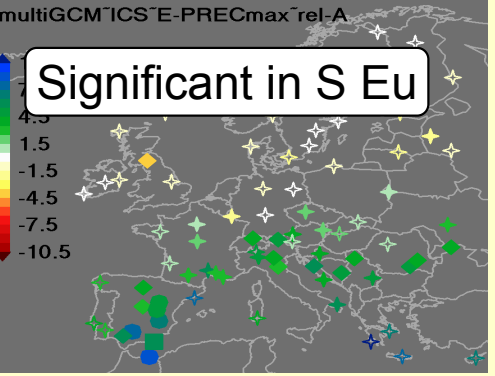
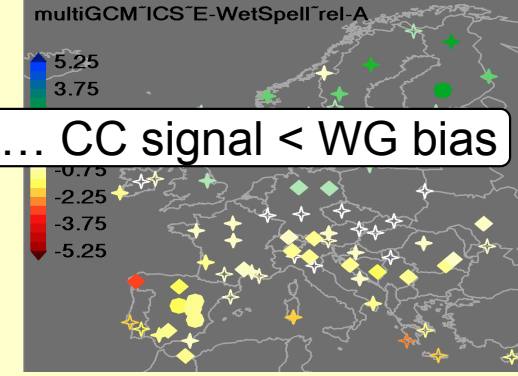
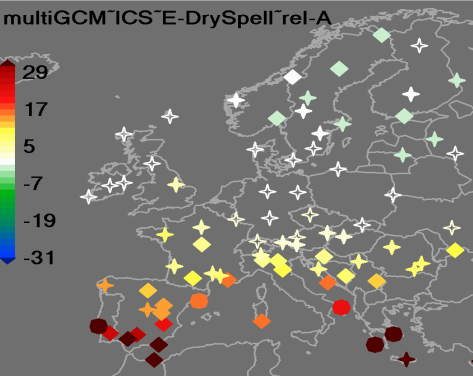


1. WG is not perfect in representing extremes
2. CC signal < WG bias (often)
3. significant effect of variability
4. large inter-GCM variability (often)

simple CC scenario



effect of using complex CC scenario



... CC signal < WG bias

Significant in S Eu

SOUHRN – scénáře změny klimatu

1. “zakladni” scénáře změny klimatu podle posledních GCM simulaci:

srážky:

- pás “nejistoty” podél 45-50. rovnoběžky; severně/jižně od něho nárůst/pokles
- CZ: pokles v lete; narůst v zime; nevyrazne zmeny v na jare a na podzim
- EU: leto: vyrazny pokles srazek v MED; zima: vyrazny narůst srazek v SV EU

teploty:

- nejistota menší než u P
- růst T: všude a po celý rok (nejvíce v SV EU /zima/ a jižní EU /léto/)

riziko sucha:

- CZ: vyssi riziko sucha po cely rok, nejvyssi narůst v lete a na podzim
- EU: nejohrozenejsi oblasti: Stredozemí

2. “pokročilé” scénáře ZK“:

využití komplexních scénářů ZK (zahrnujících i zmeny variability a pravdepodobnosti vyskytu srazek) vyznamne ovlivnuje zmeny nekterych extremálních teplotních i srážkových indexů (roční extrémny teplot i srážek, delky horkych i suchych period)

SOUHRN – nejistoty

Scénáře ZK jsou zatíženy nejistotami z různých zdrojů, které je třeba zohlednit při konkrétním experimentu zaměřeném na dopady ZK – jak při uspořádání experimentu, tak i při interpretaci získaných výsledků.

Zde představena metodologie zohledňuje tyto zdroje nejistoty:

- **budoucí vývoj koncentrací sklen. plynů** (emisní scénáře: RCP26, RCP4.5, RCM60, RCP8.5)
 - **klimatická citlivost** (cca $2 < KS < 4.5$)
 - **mezimodelová variabilita** (použití reprezentivní sady GCM modelů)
 - **přirozená variabilita klimatu** je částečně zohledněna použitím stochastického meteorologického generátoru
- + **chyba související se stupněm složitosti scénáře ZK** (např. nezahrnutí/zahrnutí změn variability)

Klimatické scénáře vytvořené pomocí zde prezentované metodologie jsou k dispozici pro širší využití.