

# Des narratifs climatiques possibles du changement climatique en Europe dans les 2 prochaines décennies

Christophe CASSOU  
Aurélien LINE, Rym MSADEK

## Les scénarios futurs sont des narratifs socio-économiques

### « *Faire-société mondiale* »:

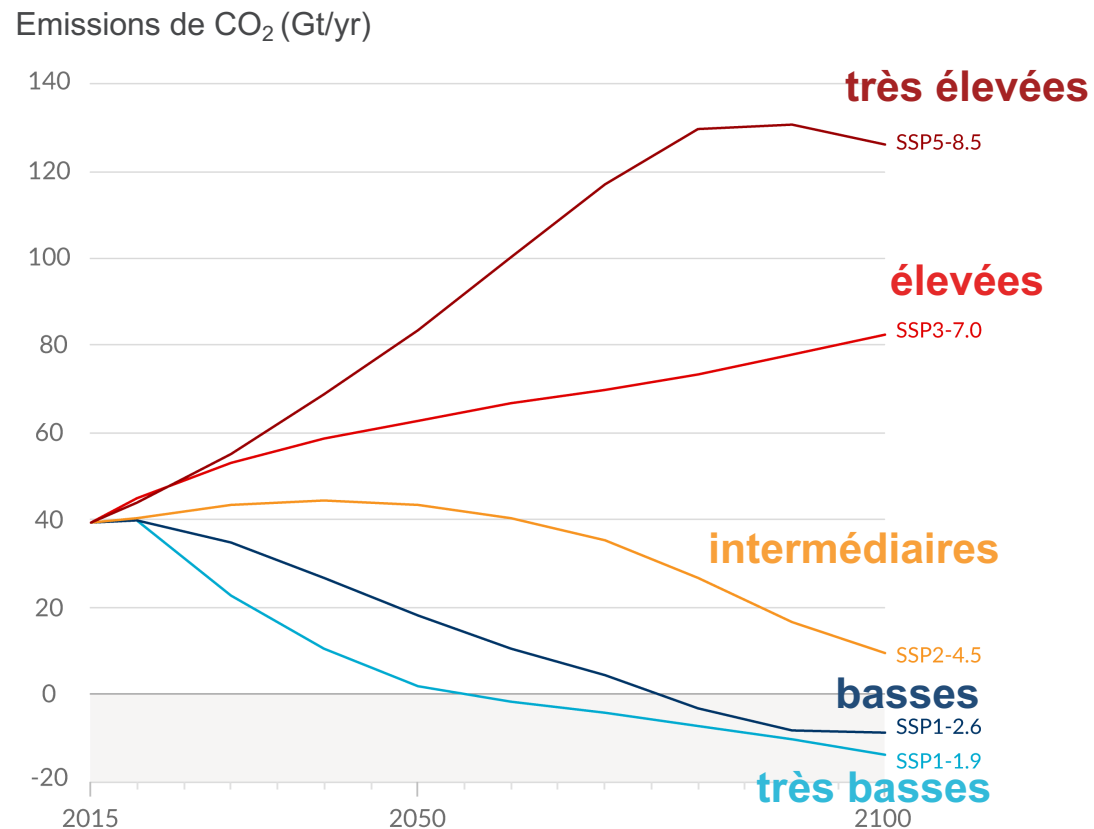
démographie, géopolitique, économie, finances, développement, technique, modes de vie etc.

Scenario	Narratif
SSP1 Développement durable	Forte coopération internationale, priorité donnée au développement durable, amélioration des conditions de vie et préférences des consommateurs pour des biens et services respectueux de l'environnement, peu intensifs en ressources et en énergie. <b>basses</b>
SSP2 Poursuite des tendances	Les tendances sociales, économiques et technologiques actuelles se poursuivent, le développement et la croissance progressent de manière inégale selon les pays et les régions. Les institutions nationales et internationales œuvrent à la réalisation des objectifs de développement durable qui progresse lentement. L'environnement se dégrade malgré un développement moins intensif en ressources et en énergie. <b>intermédiaires</b>
SSP3 Rivalités régionales	Résurgence des nationalismes, développement économique lent, persistance des inégalités et des conflits régionaux. Les pays sont guidés par des préoccupations en matière de sécurité et de compétitivité. Ils se concentrent sur les problèmes nationaux voire régionaux et sur les enjeux de sécurité alimentaire et énergétique. Faible priorité internationale pour la protection de l'environnement, qui se dégrade fortement dans certaines régions. <b>élevées</b>
SSP5 Développement conventionnel	Développement adossé à l'exploitation forte des énergies fossiles et marqué par des investissements élevés dans la santé, l'éducation et les nouvelles technologies. Adoption de modes de vie intensifs en ressources et en énergie à travers le monde. La croissance économique et le progrès technologique sont élevés. Les problèmes de pollution locale sont bien gérés et l'adaptation est facilitée notamment grâce au recul de la pauvreté. <b>très élevées</b>

Sources : Riahi et al. (2017), O'Neill et al. (2015), Bauer et al. (2017)

## Les scénarios futurs sont des narratifs socio-économiques traduits (1) en émission de gaz à effet de serre & usage des sols

### (1) Sélection de 5 scénarios illustratifs contrastés



### « Faire-société mondiale »:

démographie, géopolitique, économie, finances, développement, technique, modes de vie etc.

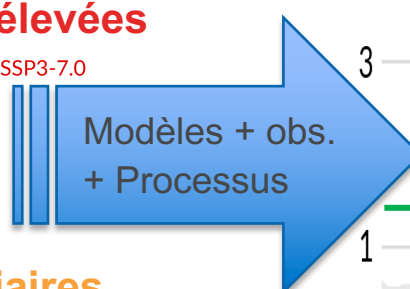
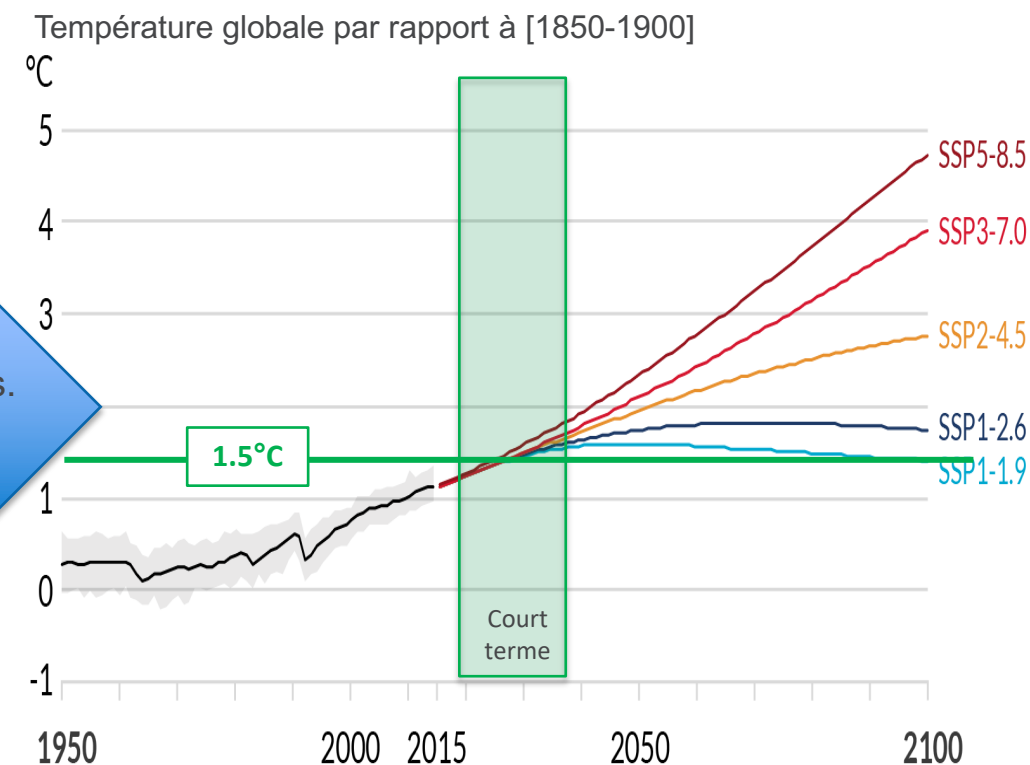
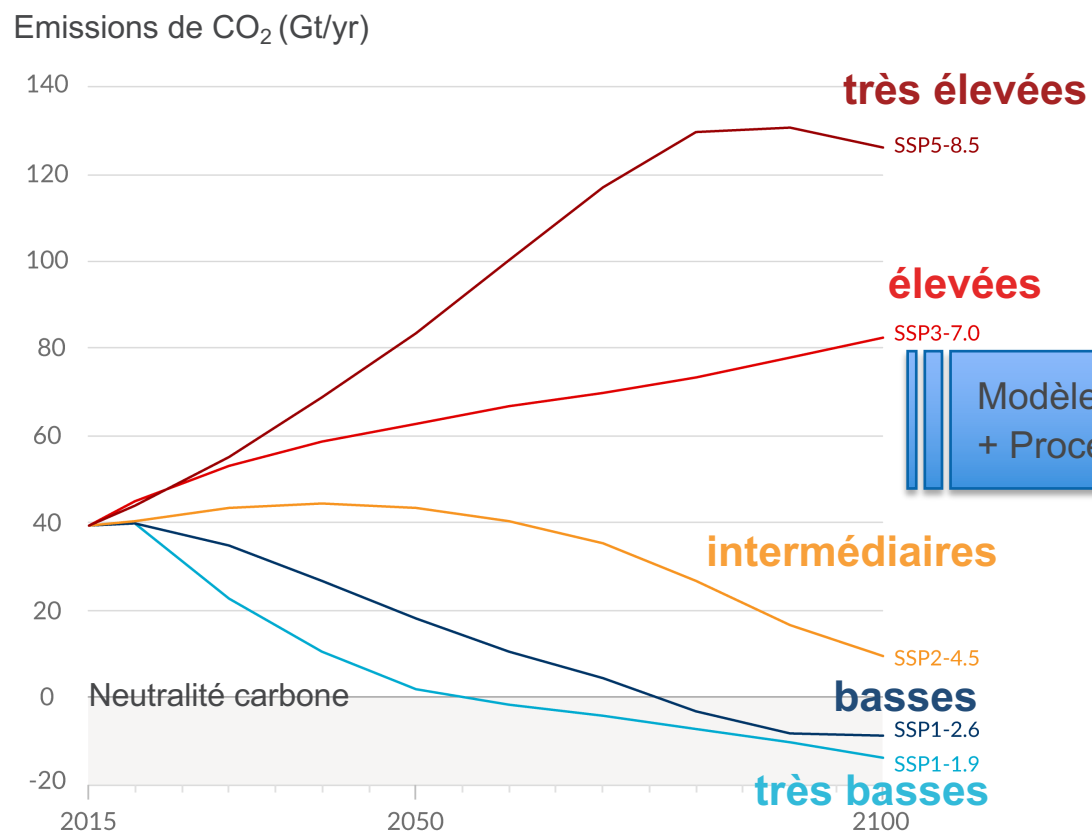
Scenario	Narratif
SSP1 Développement durable	Forte coopération internationale, priorité donnée au développement durable, amélioration des conditions de vie et préférences des consommateurs pour des biens et services respectueux de l'environnement, peu intensifs en ressources et en énergie. <b>basses</b>
SSP2 Poursuite des tendances	Les tendances sociales, économiques et technologiques actuelles se poursuivent, le développement et la croissance progressent de manière inégale selon les pays et les régions. Les institutions nationales et internationales œuvrent à la réalisation des objectifs de développement durable qui progresse lentement. L'environnement se dégrade malgré un développement moins intensif en ressources et en énergie. <b>intermédiaires</b>
SSP3 Rivalités régionales	Résurgence des nationalismes, développement économique lent, persistance des inégalités et des conflits régionaux. Les pays sont guidés par des préoccupations en matière de sécurité et de compétitivité. Ils se concentrent sur les problèmes nationaux voire régionaux et sur les enjeux de sécurité alimentaire et énergétique. Faible priorité internationale pour la protection de l'environnement, qui se dégrade fortement dans certaines régions. <b>élevées</b>
SSP5 Développement conventionnel	Développement adossé à l'exploitation forte des énergies fossiles et marqué par des investissements élevés dans la santé, l'éducation et les nouvelles technologies. Adoption de modes de vie intensifs en ressources et en énergie à travers le monde. La croissance économique et le progrès technologique sont élevés. Les problèmes de pollution locale sont bien gérés et l'adaptation est facilitée notamment grâce au recul de la pauvreté. <b>très élevées</b>

Sources : Riahi et al. (2017), O'Neill et al. (2015), Bauer et al. (2017)

## Des narratifs socio-économiques traduits (1) en émission de gaz à effet de serre & usage des sols puis (2) en projections climatiques

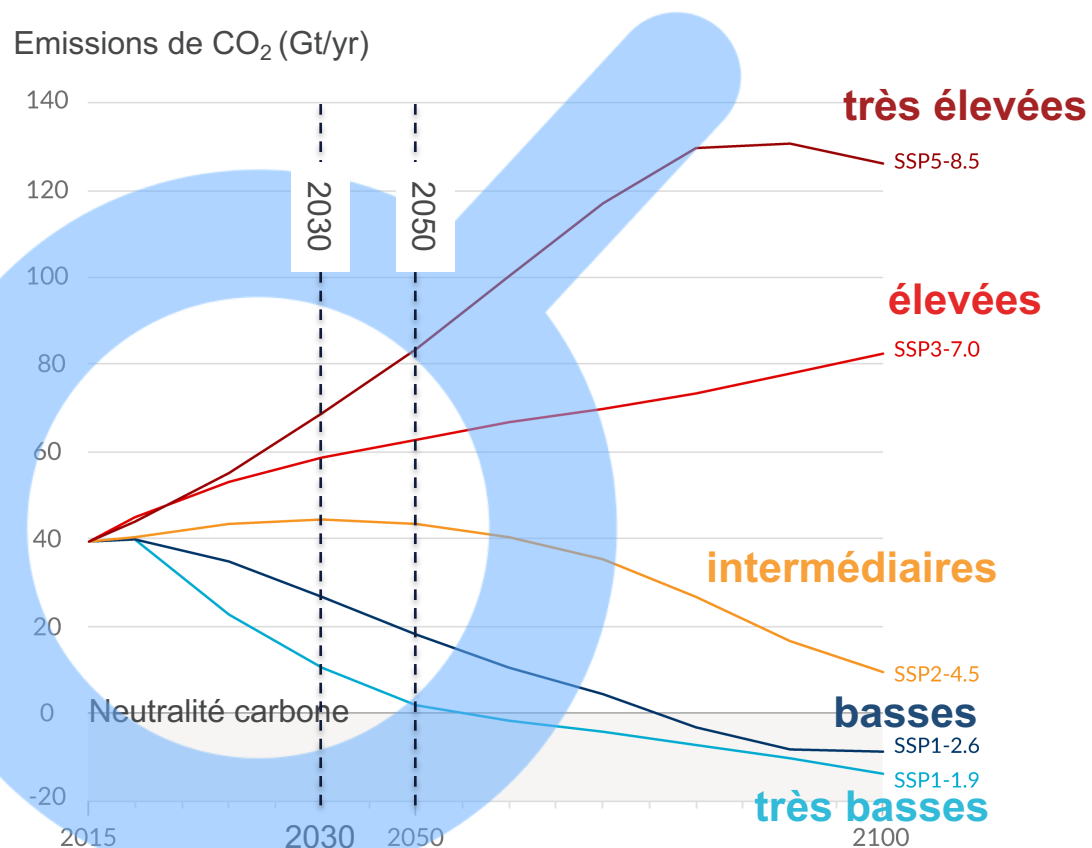
(1) Sélection de 5 scénarios illustratifs contrastés

(2) Réchauffement global en fonction des 5 scénarios illustratifs



## Des narratifs socio-économiques traduits (1) en émission de gaz à effet de serre & usage des sols

(1) Sélection de 5 scénarios illustratifs contrastés

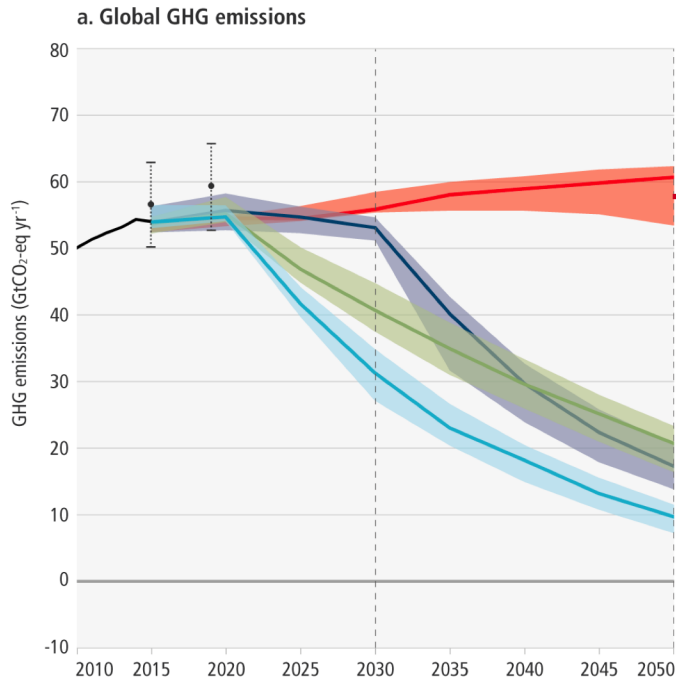


## Quel climat à l'échelle régionale et sur le court terme?

- Les facteurs naturels et la variabilité interne **moduleront** les changements d'origine humaine, en particulier à **l'échelle régionale et à court terme**, mais ils n'auront que peu d'effet sur le réchauffement planétaire à l'échelle du siècle.
  - ➡ *Il est important de tenir compte de ces modulations pour se préparer à **tout l'éventail des changements possibles** et bien penser les stratégies d'adaptation.*
- Les changements projetés d'origine humaine pour le climat moyen et les facteurs climatiques générateurs d'impact (extrêmes, évènements composites-cocktails, etc.), seront **soit amplifiés soit atténués** par la variabilité interne.
  - ➡ *Un refroidissement à court terme par rapport au climat actuel pourrait se produire en tout lieu et serait cohérent avec l'augmentation de la température à la surface du globe due à l'influence humaine.*

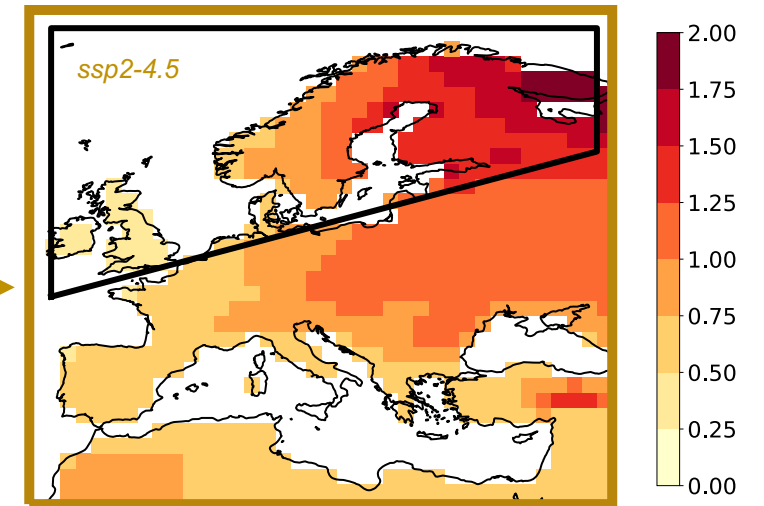
# 1. Réponse forcée sur les 20 prochaines années

## Température en hiver [Jan.-Fev.-Mars (JFM)]: scénario « COP26-Glasgow »



- Modèle = CNRM-CM6.1
- Approche ensembliste: 30 membres
- Simulations:
  - Historique [1995-2014]
  - **Scenario ssp2-4.5 [2020-2039]**

Différence de température moyennée sur [2020-2039] p/r à [1995-2014, période de référence]  
Moyenne d'ensemble



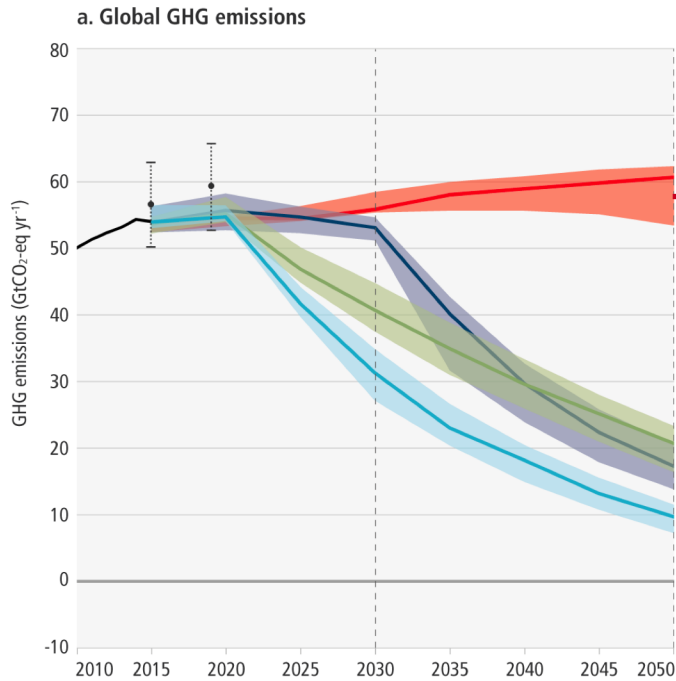
Modelled pathways:

- Trend from implemented policies
- Limit warming to 2°C (>67%) or return warming to 1.5°C (>50%) after a high overshoot, NDCs until 2030
- Limit warming to 2°C (>67%)
- Limit warming to 1.5°C (>50%) with no or limited overshoot
- Past GHG emissions and uncertainty for 2015 and 2019 (dot indicates the median)

Source: Figure 10.1, AR6

# 1. Réponse forcée sur les 20 prochaines années

## Température en hiver (JFM) : scénario « COP26-Glasgow » vs « COP21-Paris »

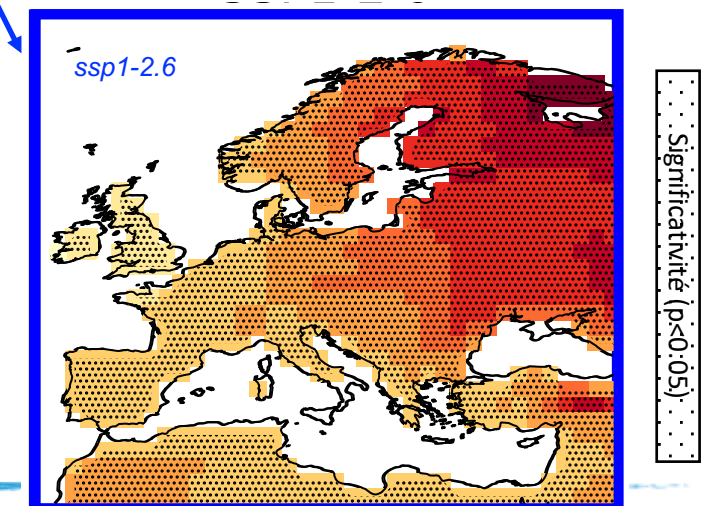
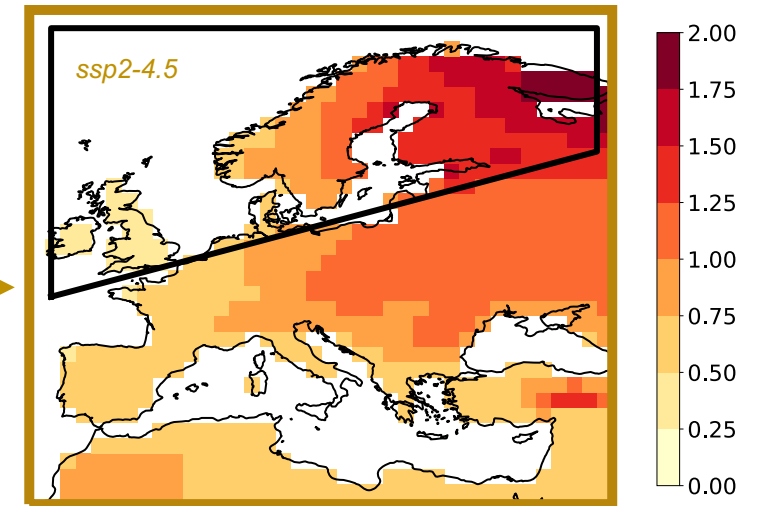


Modelled pathways:

- Trend from implemented policies
- Limit warming to 2°C (>67%) or return warming to 1.5°C (>50%) after a high overshoot, NDCs until 2030
- Limit warming to 2°C (>67%)
- Limit warming to 1.5°C (>50%) with no or limited overshoot
- Past GHG emissions and uncertainty for 2015 and 2019 (dot indicates the median)

- Modèle = CNRM-CM6.1
- Approche ensembliste: 30 membres
- Simulations:
  - Historique [1995-2014]
  - **Scenario ssp2-4.5 [2020-2039]**
  - **Scenario ssp1-2.6 [2020-2039]**

Différence de température moyennée sur [2020-2039] p/r à [1995-2014, période de référence]  
Moyenne d'ensemble

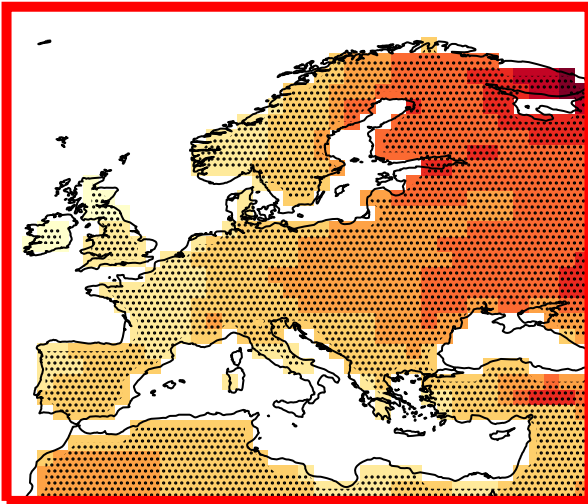




# 1. Réponse forcée sur les 20 prochaines années

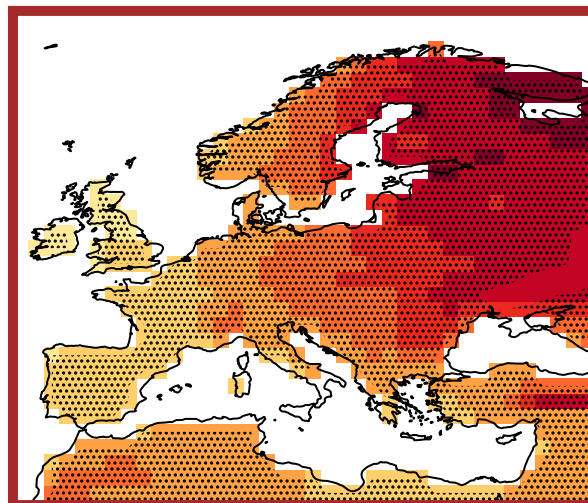
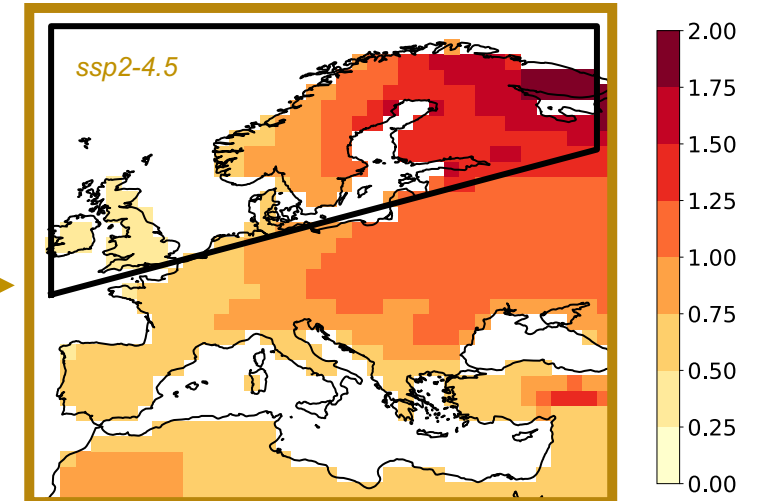
## Température en hiver (JFM)– tous les scenarios

Différence de température moyennée sur [2020-2039] p/r à [1995-2014, période de référence]  
Moyenne d'ensemble

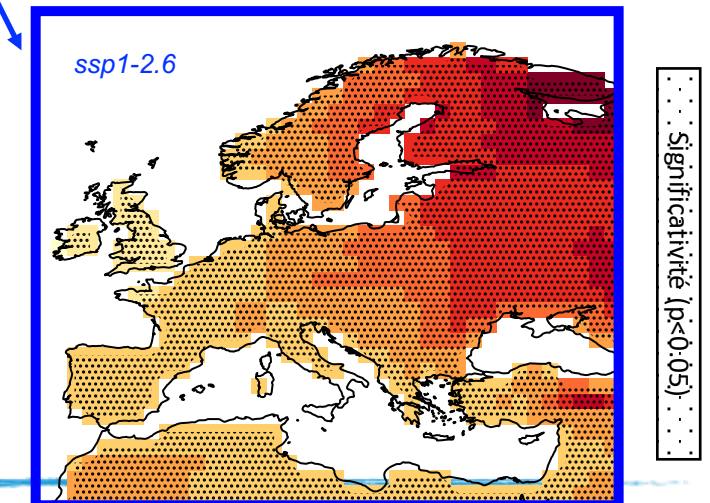


- Modèle = CNRM-CM6.1
- Approche ensembliste: 30 membres
- Simulations:
  - Historique [1995-2014]
  - **Scenario ssp2-4.5 [2020-2039]**
  - **Scenario ssp1-2.6 [2020-2039]**
  - **Scenario ssp3-7.0 [2020-2039]**
  - **Scenario ssp5-8.5 [2020-2039]**

Différence de température moyennée sur [2020-2039] p/r à [1995-2014, période de référence]  
Moyenne d'ensemble



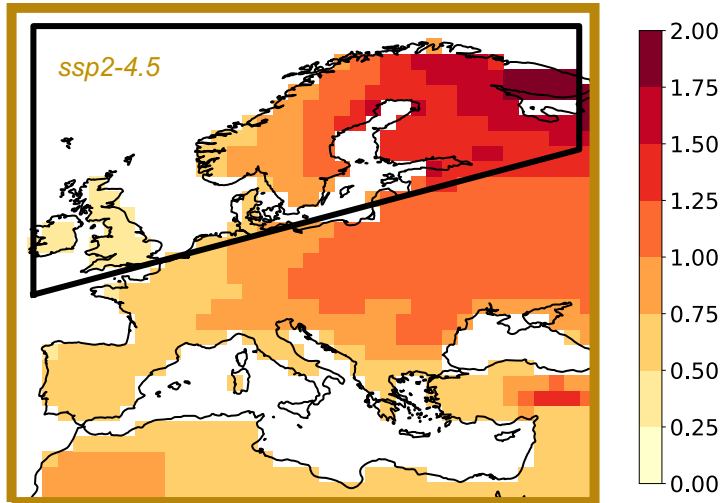
L'amplitude/structure spatiale du réchauffement sur l'Europe à court terme sont statistiquement indifférentiables entre scenarios sauf marginalement entre ssp-3.70 (le +froid) et ssp-5.85 (le +chaud)



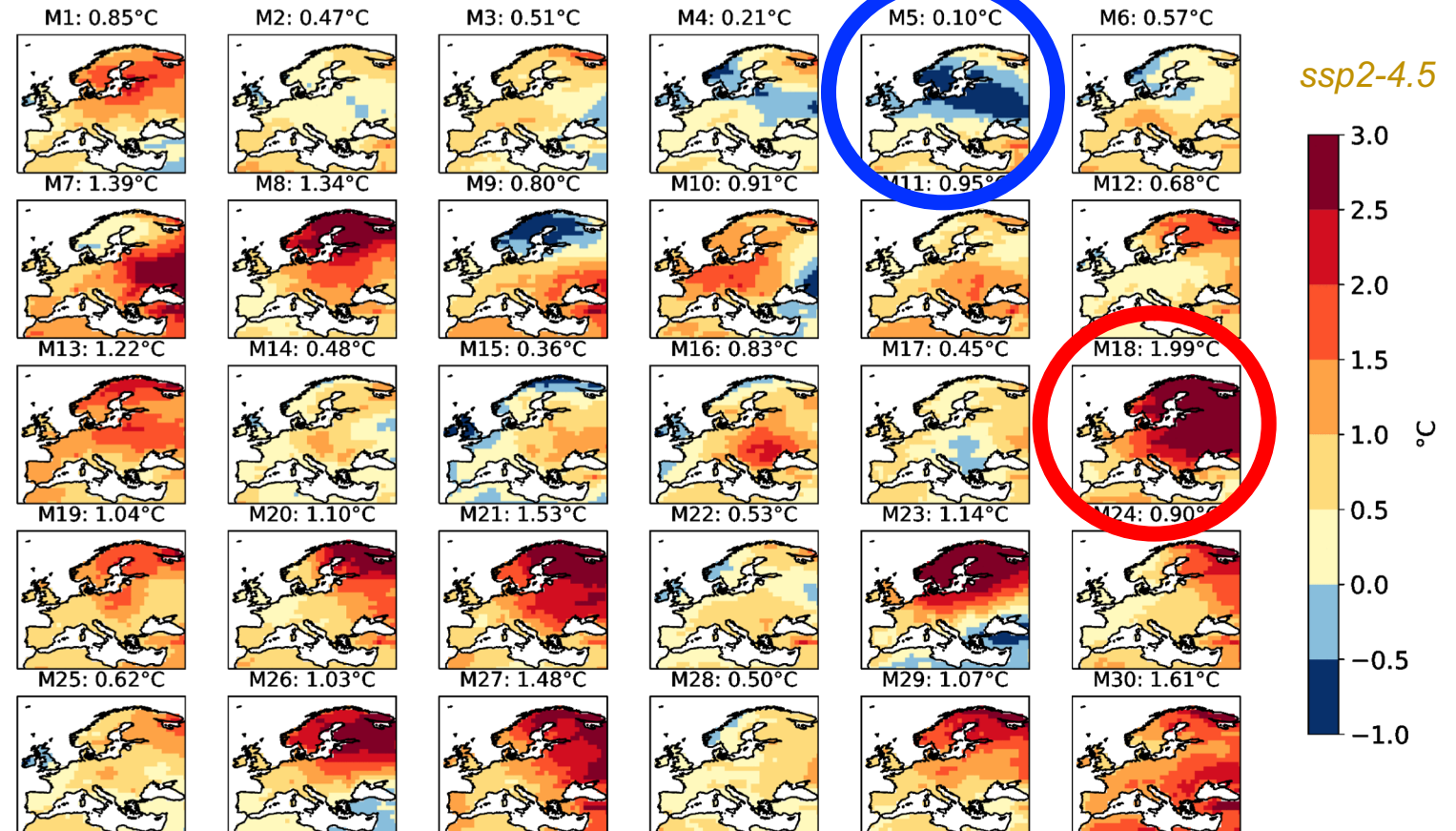
## 2. Importance de la variabilité interne

# Les possibles climatiques des températures en hiver (JFM)

Différence de température moyennée sur [2020-2039] p/r à [1995-2014, période de référence]  
Moyenne d'ensemble



Différence de température moyennée sur [2020-2039] p/r à [1995-2014, période de référence]: 30 membres



Il est essentiel d'aller au delà de la réponse forcée pour des applications d'adaptation et de gestion de risques et évaluation des besoins (énergie, eau, etc.)

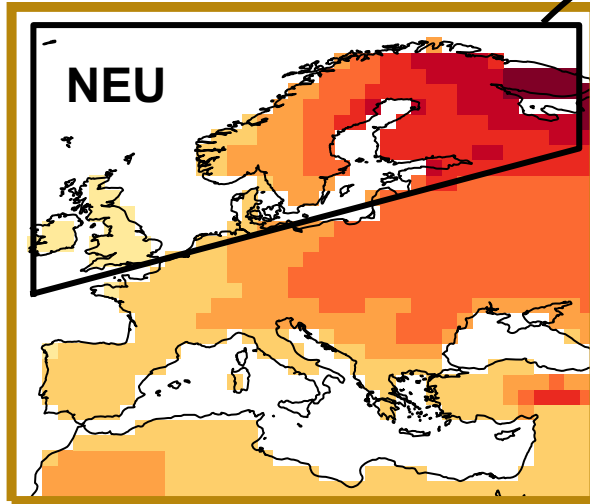
Le plus froid : +0.10°C

Le plus chaud : +1.99°C

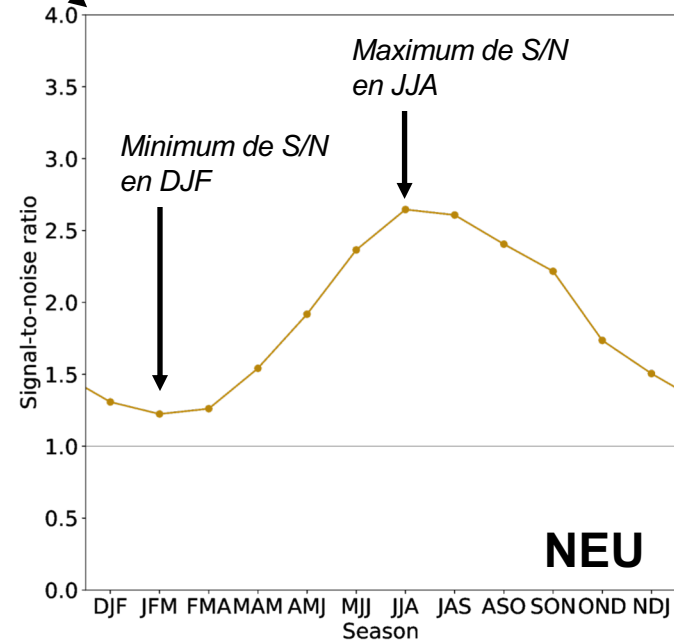
## 2. Importance de la variabilité interne

# Le rapport signal (réponse forcée) sur bruit (variabilité interne) [1]

Différence de température moyennée sur [2020-2039] p/r à [1995-2014, période de référence]  
Moyenne d'ensemble



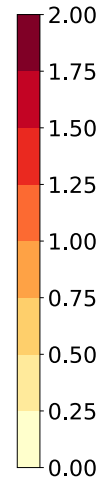
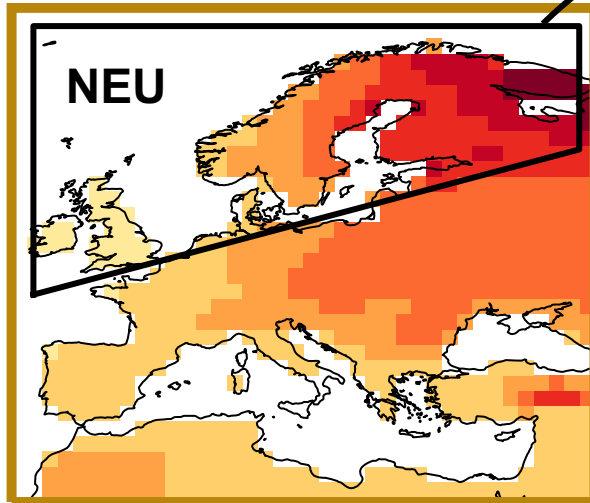
Rapport S/N en fonction des saisons *ssp2-4.5*



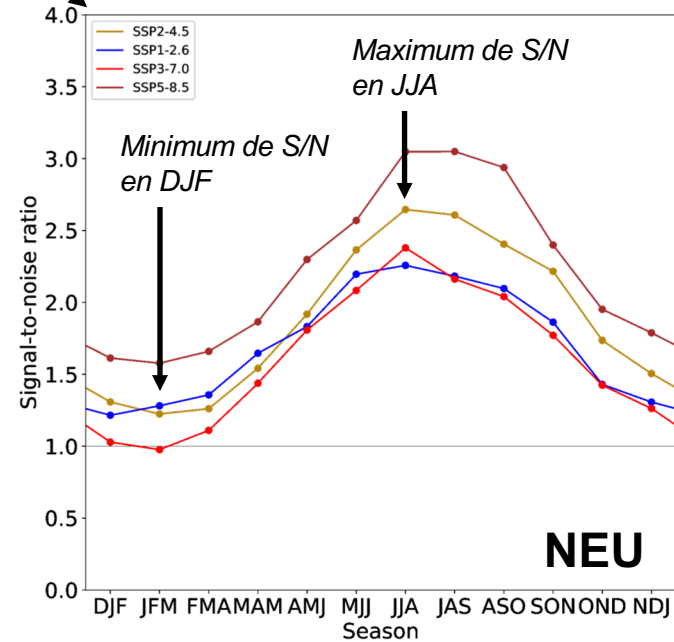
## 2. Importance de la variabilité interne

# Le rapport signal (réponse forcée) sur bruit (variabilité interne) [2]

Différence de température moyennée sur [2020-2039] p/r à [1995-2014, période de référence]  
Moyenne d'ensemble



Rapport S/N en fonction des saisons

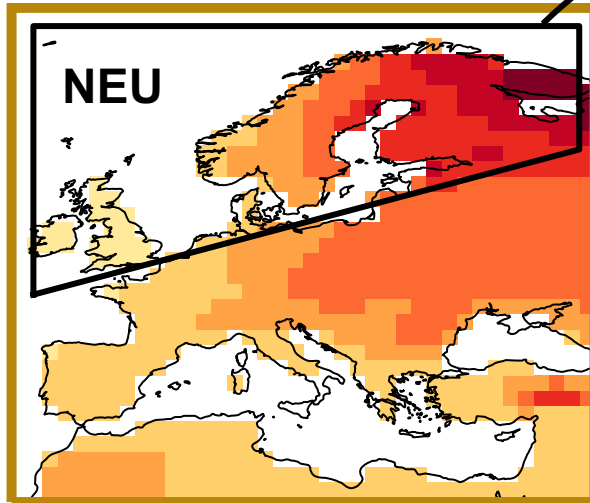


Cycle saisonnier du rapport signal sur bruit **proche pour tous les scénarios**  
Faible en hiver, plus fort en été

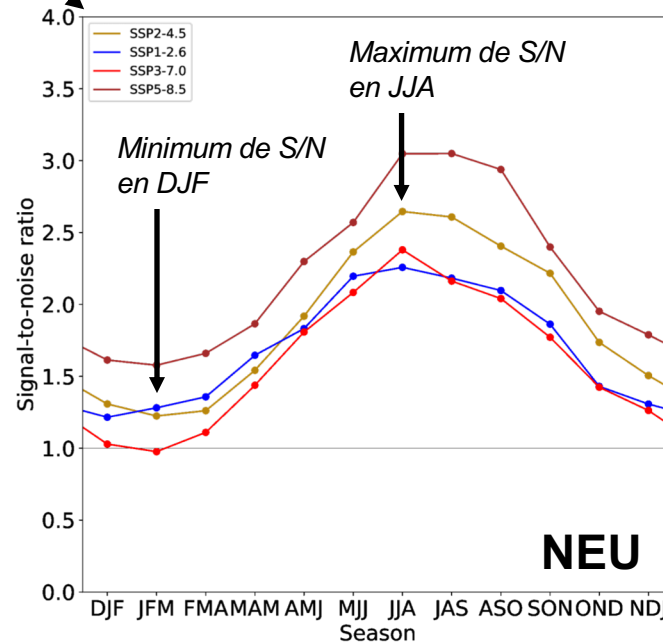
## 2. Importance de la variabilité interne

# Les possibles climatiques des températures en hiver (JFM) sur Europe du Nord (NEU)

Différence de température moyennée sur [2020-2039] p/r à [1995-2014, période de référence]  
Moyenne d'ensemble

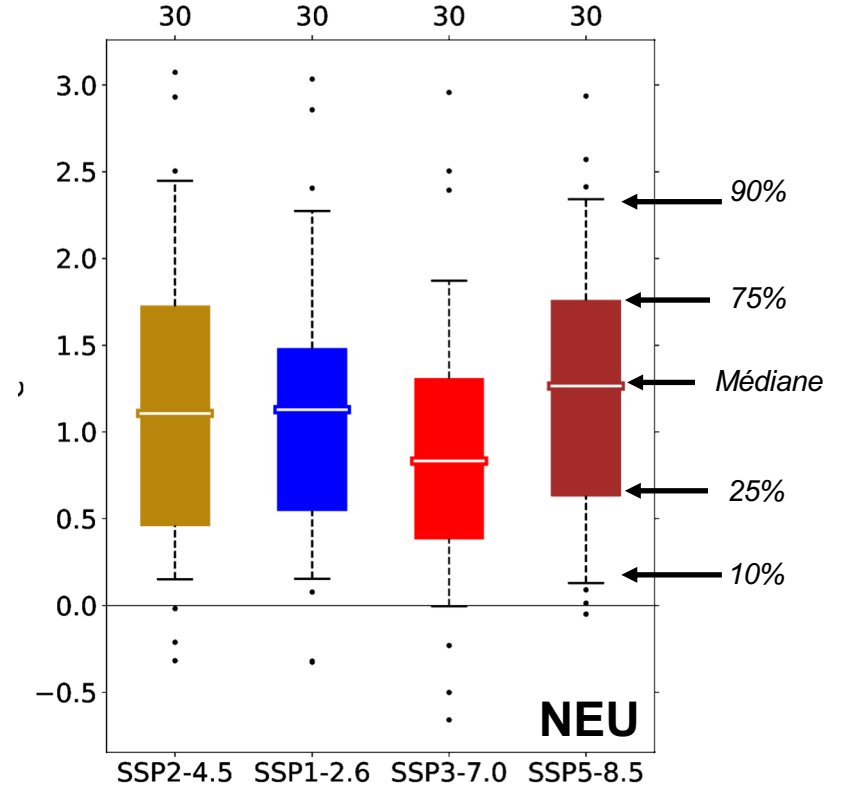


Rapport S/N en fonction des saisons sur NEU



Cycle saisonnier du rapport signal sur bruit **proche pour tous les scénarios**  
Faible en hiver, plus fort en été

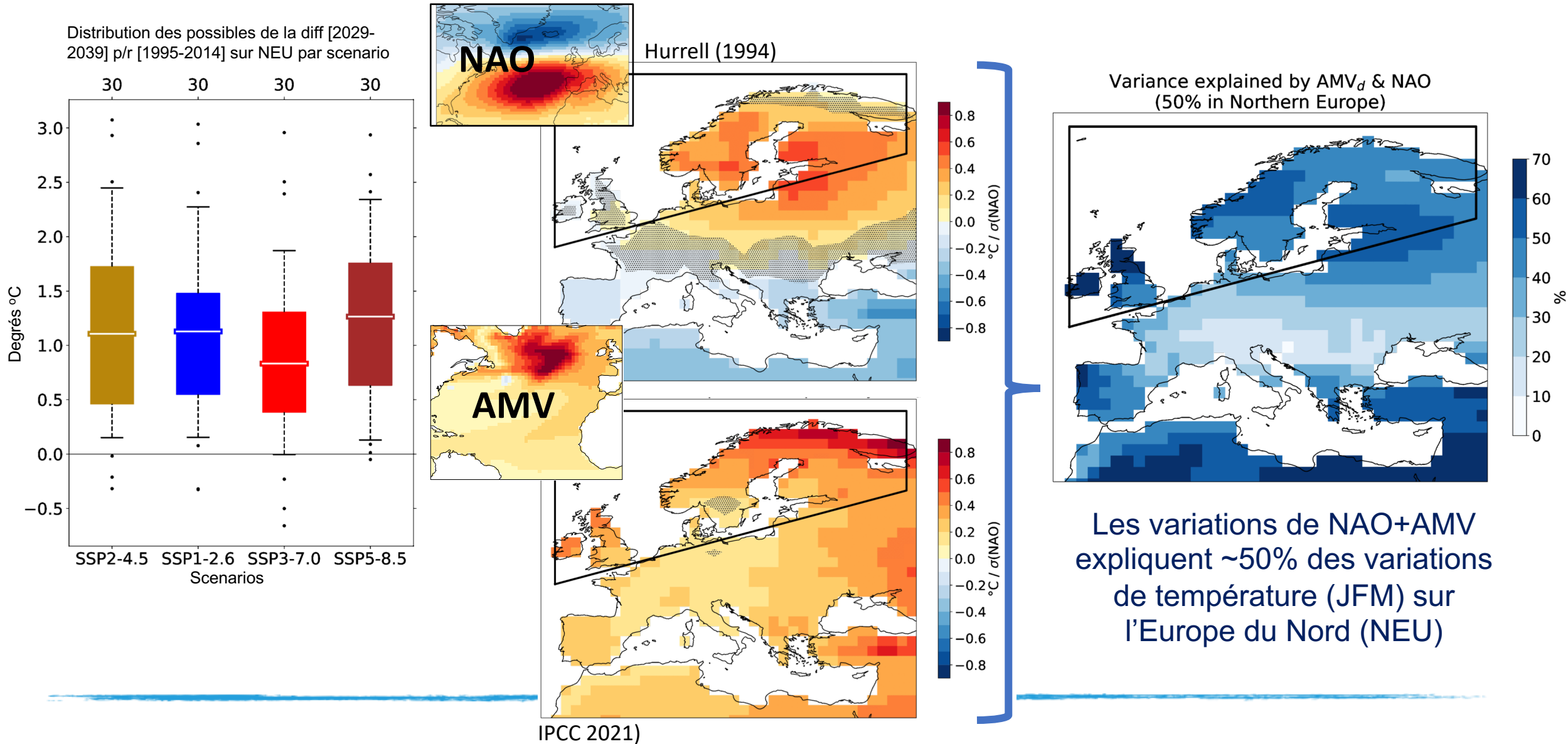
Distribution des possibles de la diff [2029-2039] p/r [1995-2014] sur NEU par scénario



En moyenne sur tous les scénarios, la réponse forcée est de +0.XX et la dev. standard de 0.YY

### 3. Drivers de variabilité interne

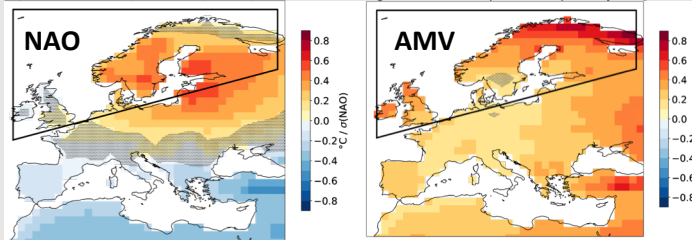
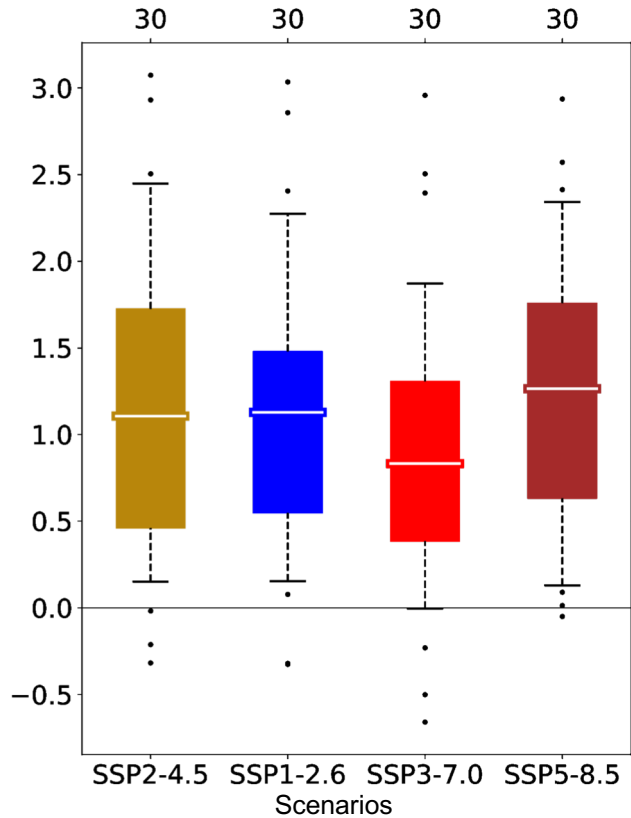
## L'Oscillation Nord Atlantique (NAO) & la Variabilité Atlantique Multidécennale (AMV)



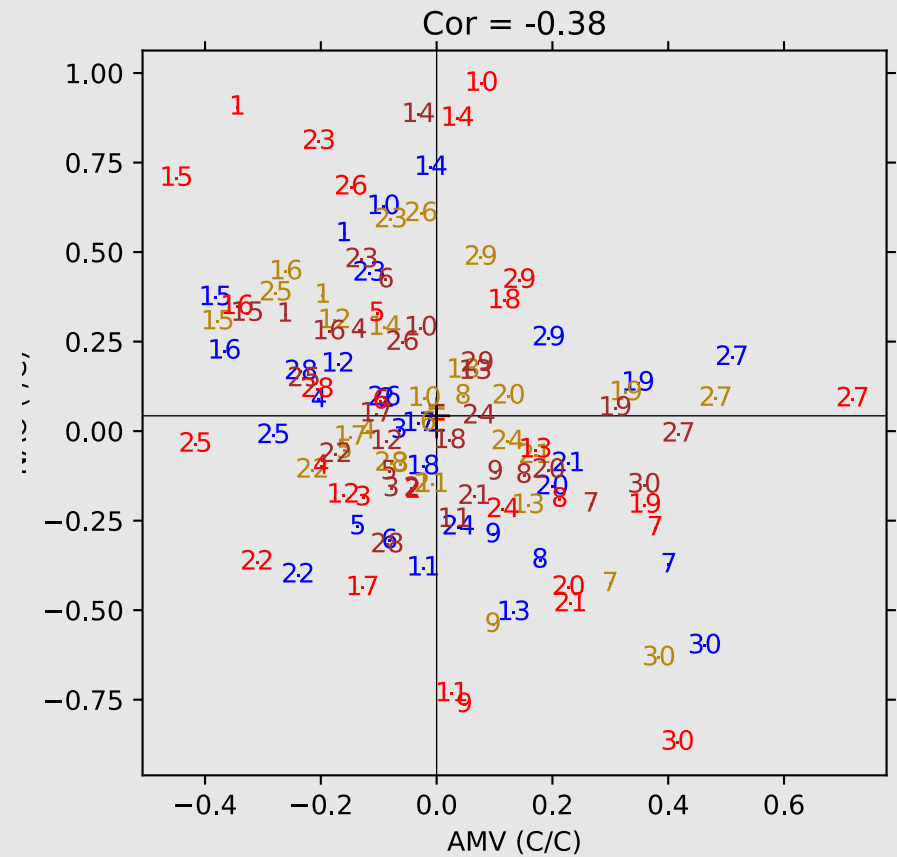
### 3. Drivers de variabilité interne

# Les narratifs climatiques/storylines interne sur l'Europe du Nord (NEU)

Distribution des possibles de la diff [2029-2039] p/r [1995-2014] sur NEU par scenario



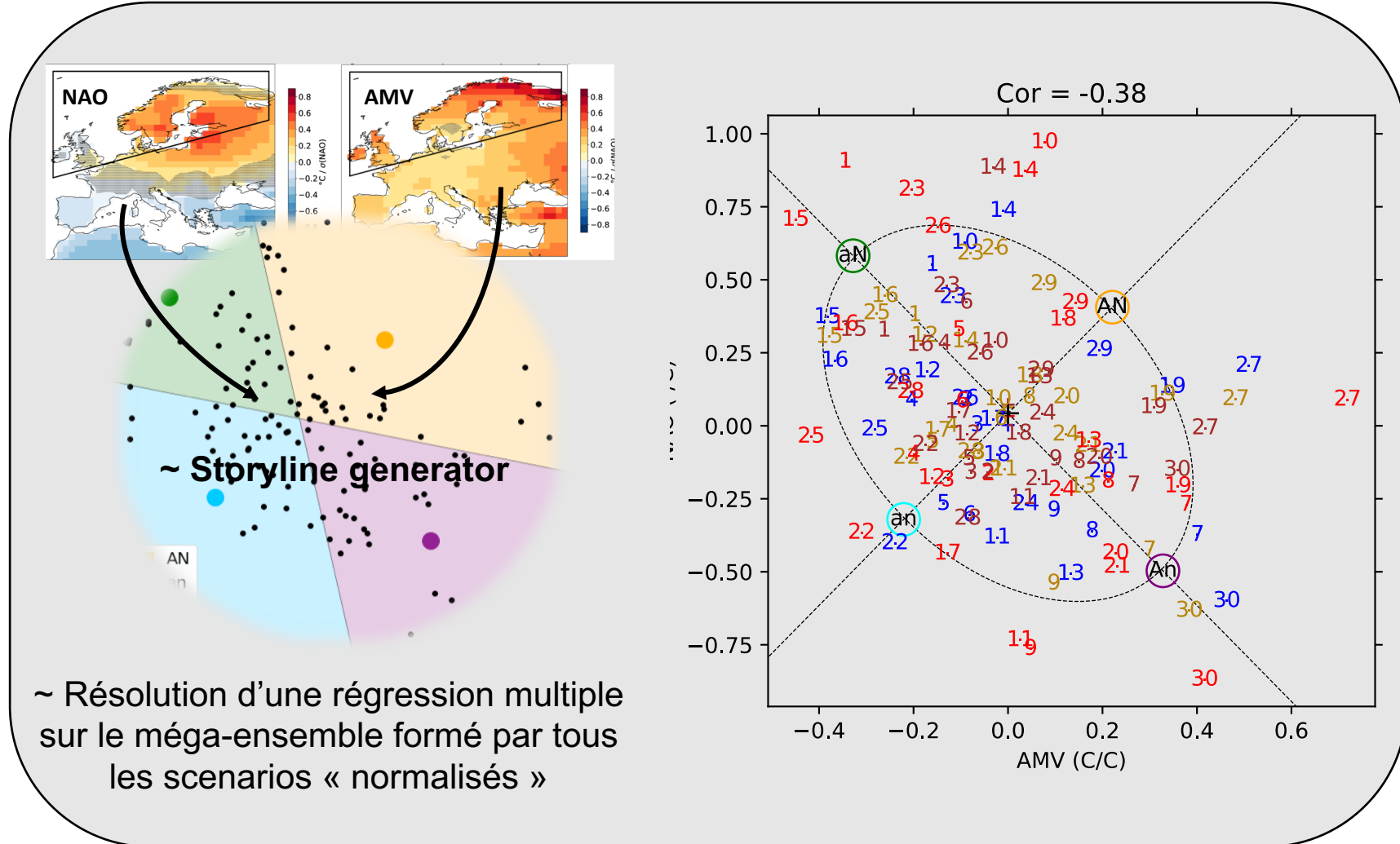
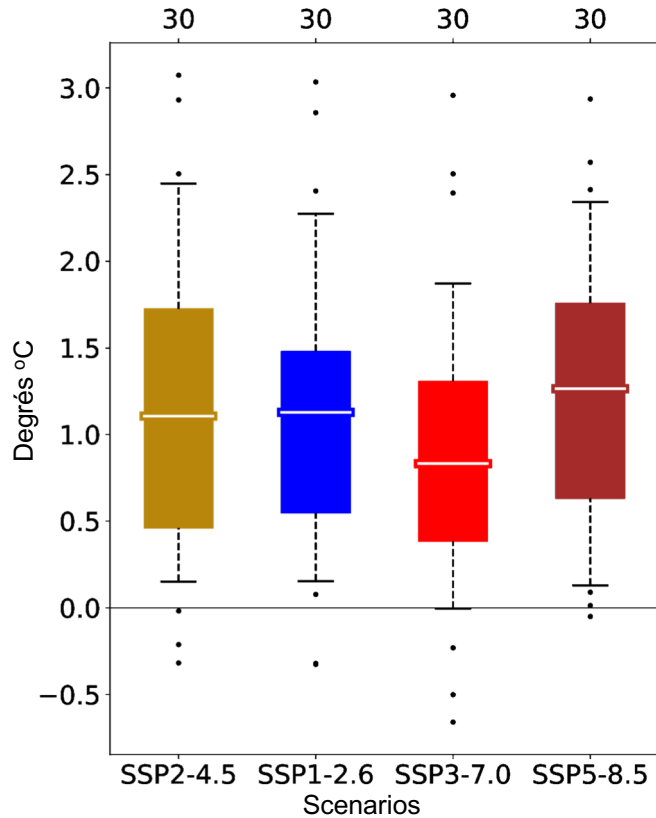
Formation d'un méga ensemble en combinant membres + scenarios



### 3. Drivers de variabilité interne

# Les narratifs climatiques/storylines interne sur l'Europe du Nord (NEU)

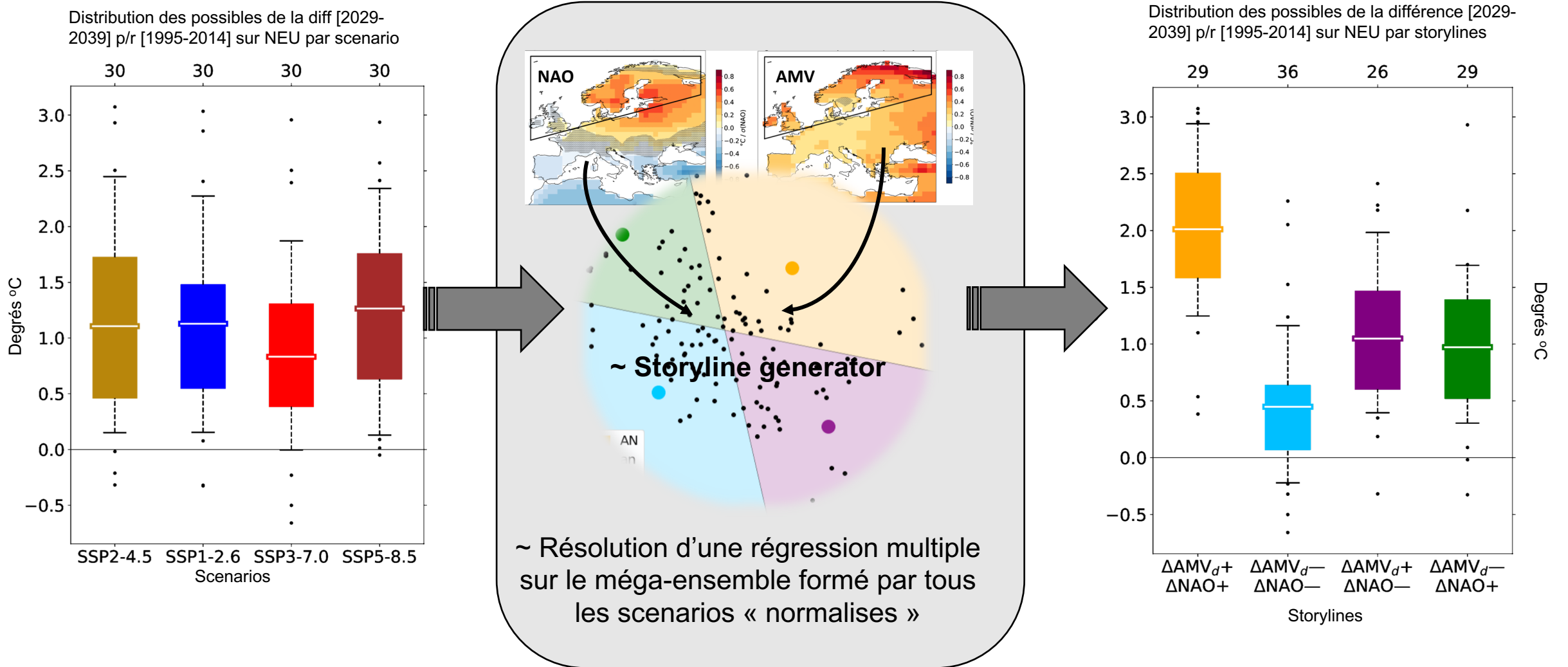
Distribution des possibles de la diff [2029-2039] p/r [1995-2014] sur NEU par scénario





### 3. Drivers de variabilité interne

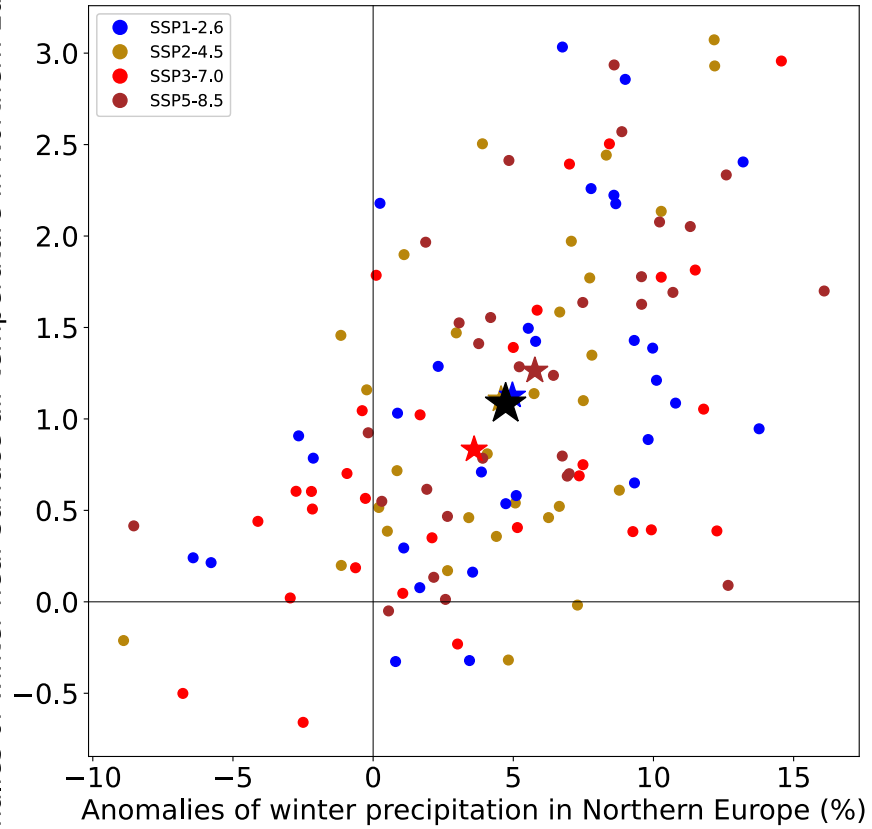
# Les narratifs climatiques/storylines interne sur l'Europe du Nord (NEU)



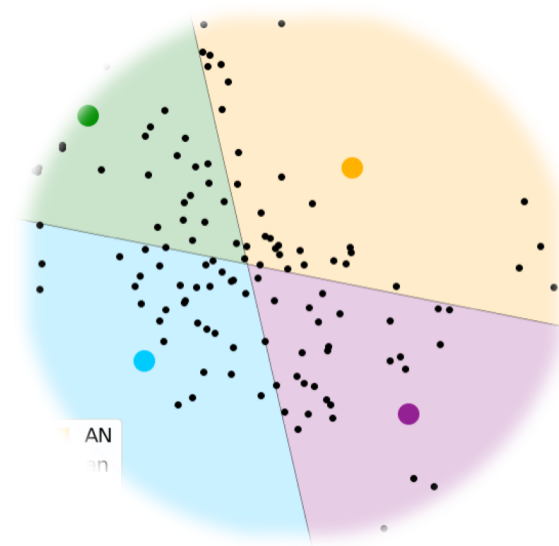
## 4. Relation storyline-temps sensible

# Changements moyens de précipitations en fonction de la température

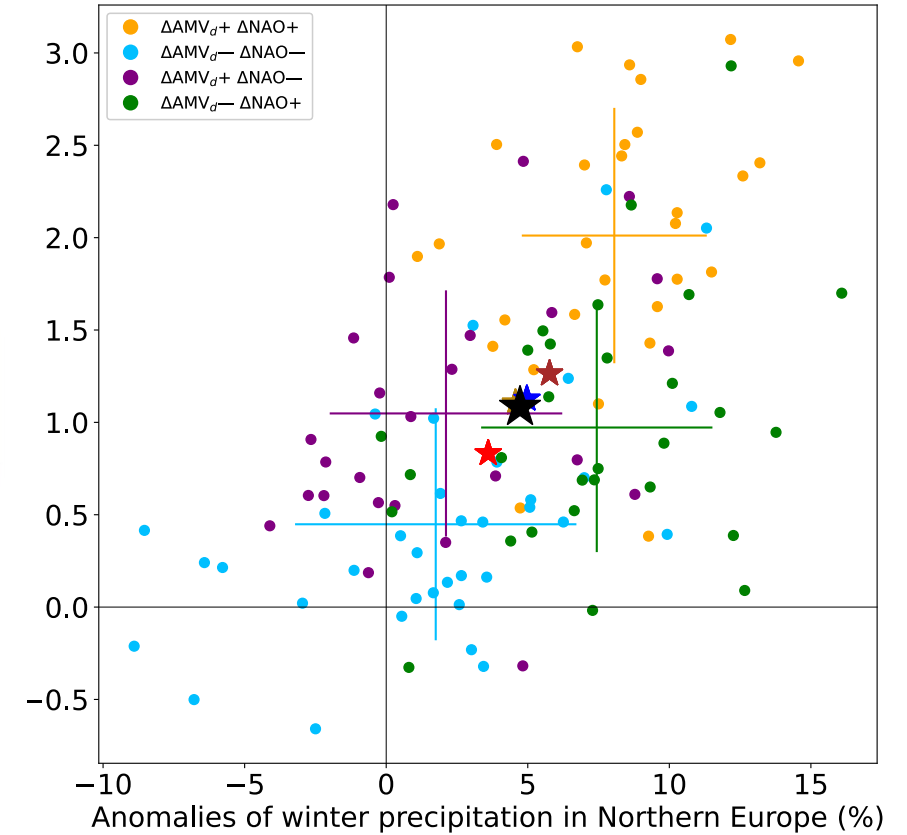
anomalies of winter near-surface air temperature in Northern Europe (°C)



### Scenarios



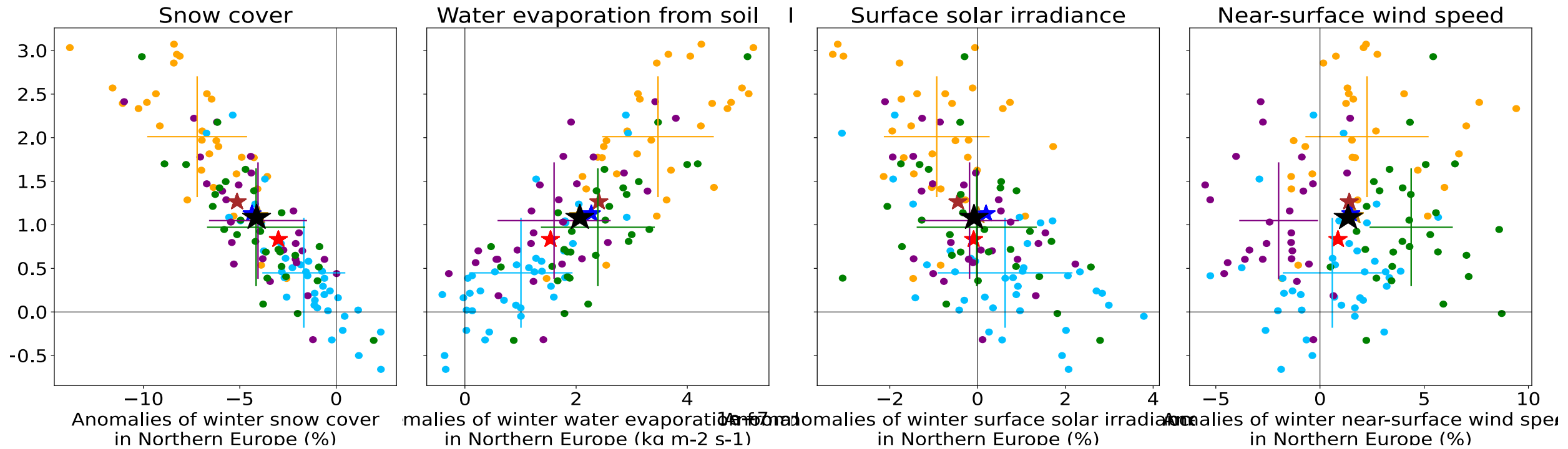
Distribution des possibles de la différence [2029-2039] p/r [1995-2014] sur NEU par storylines



### Storylines

#### 4. Relation storyline-temps sensible

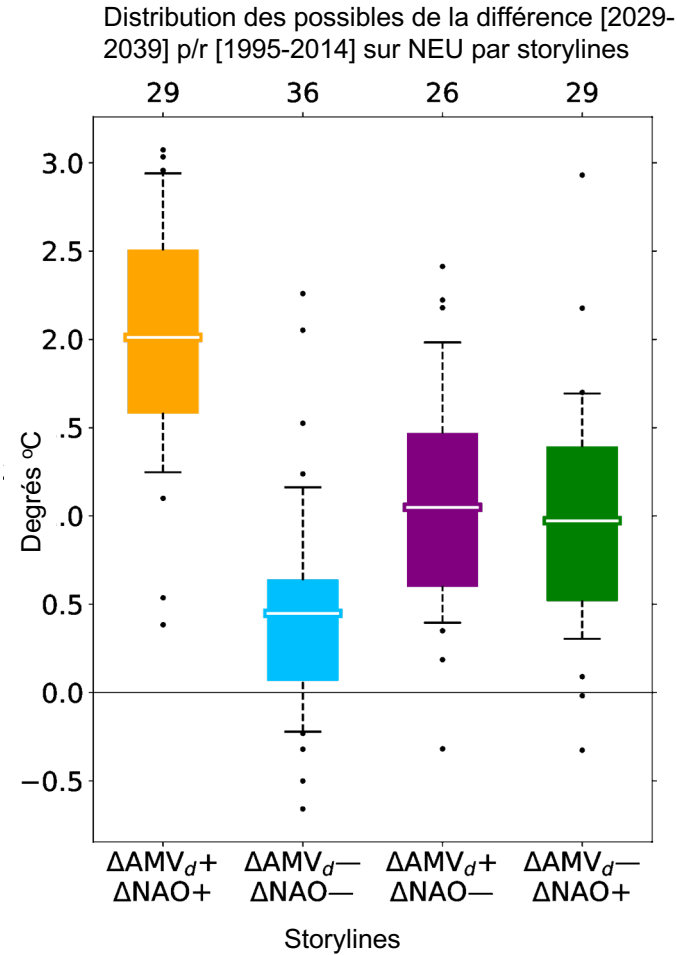
## Changements moyens des variables d'impacts en fonction de temp.



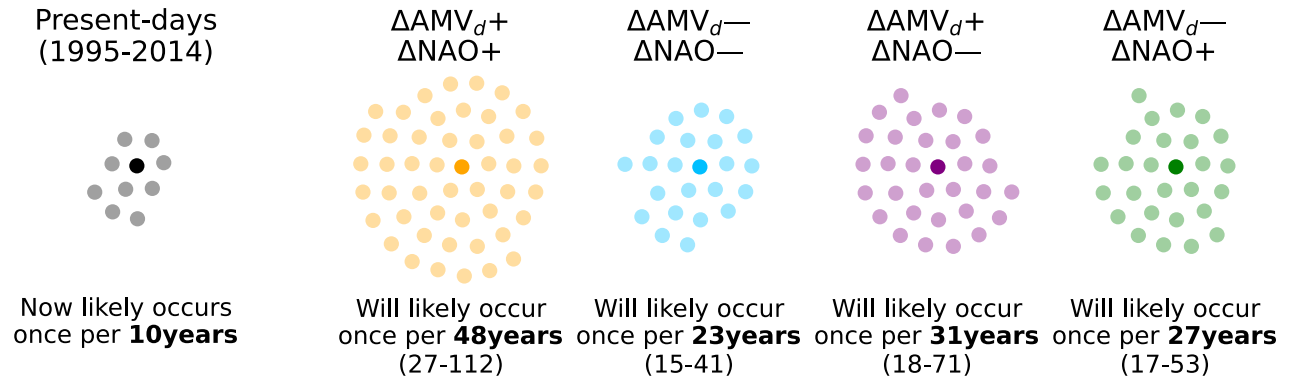
Storylines

## 4. Relation storyline-temps sensible

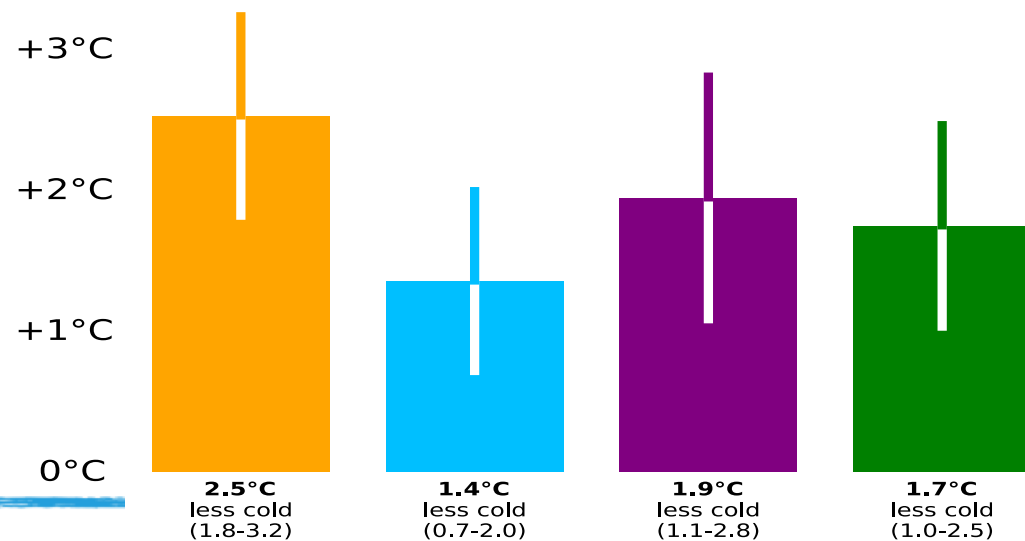
# Changements sur les statistiques de vagues de froid



### 1. Changement du temps de retour d'un événement froid de temps de retour à 10 ans

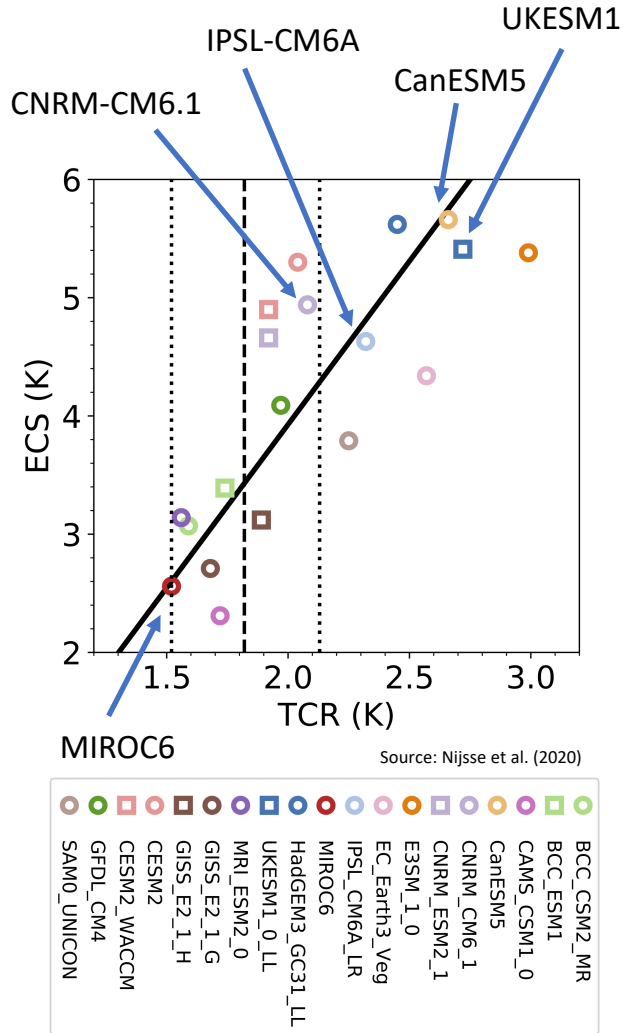


### 2. Changement d'intensité d'un événement froid de temps de retour à 10 ans

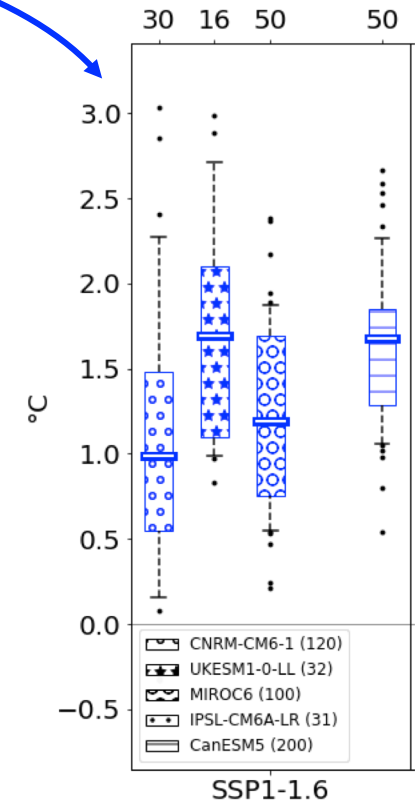


# 5. Le multimodèle

## Incertitude sur la réponse forcée



Model	SSP1-2.6	SSP2-4.5	SSP3-7.0	SSP5-8.5
CNRM-CM6-1	30	30	30	30
CanESM5	50	50	50	50
IPSL-CM6A-LR		31		
UKESM1-0-LL	16		16	
MIROC6	50			50

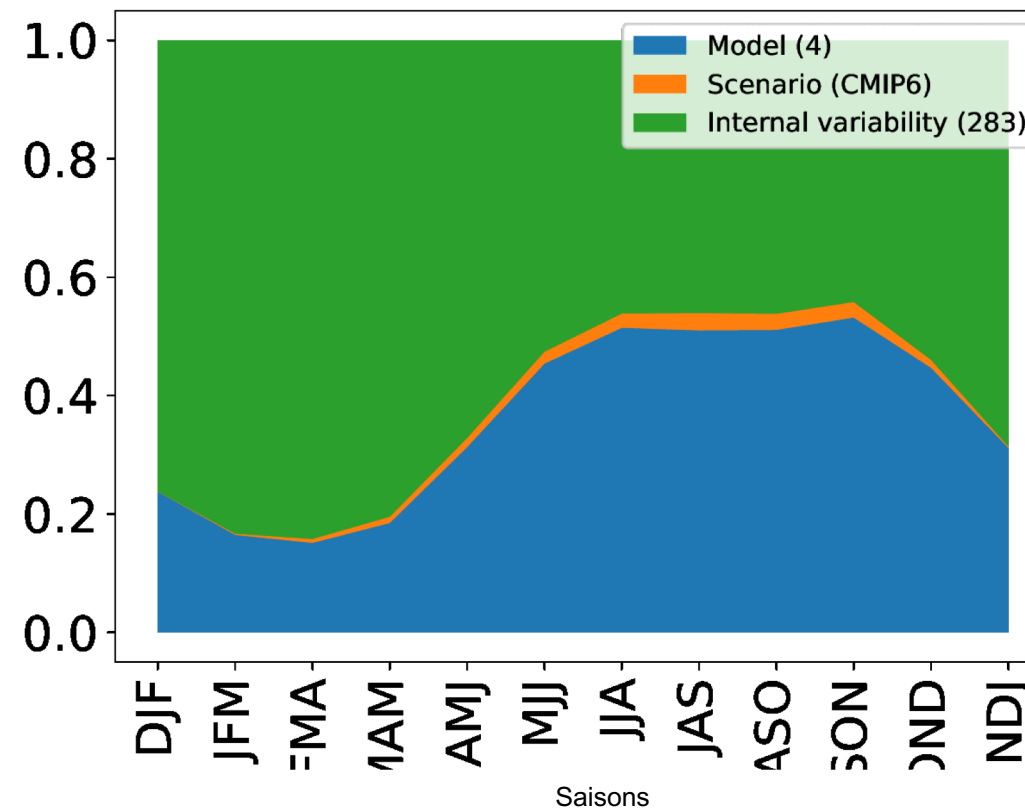
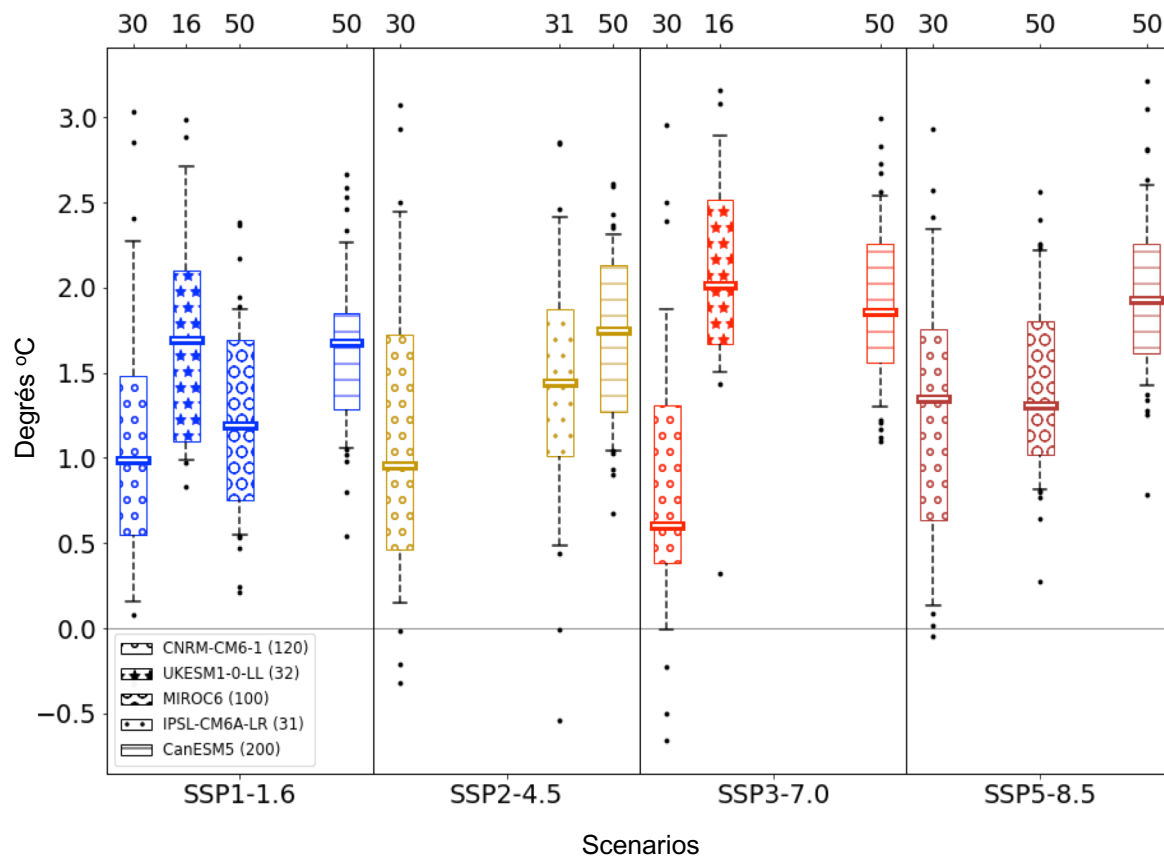


## 5. Le multimodèle

# Partition entre les différentes sources d'incertitude

Model	SSP 1-2.6	SSP2 -4.5	SSP3 -7.0	SSP 5-8.5
CNRM-CM6-1	30	30	30	30
CanESM5	50	50	50	50
IPSL-CM6A-LR		31		
UKESM1-0-LL	16		16	
MIROC6	50			50

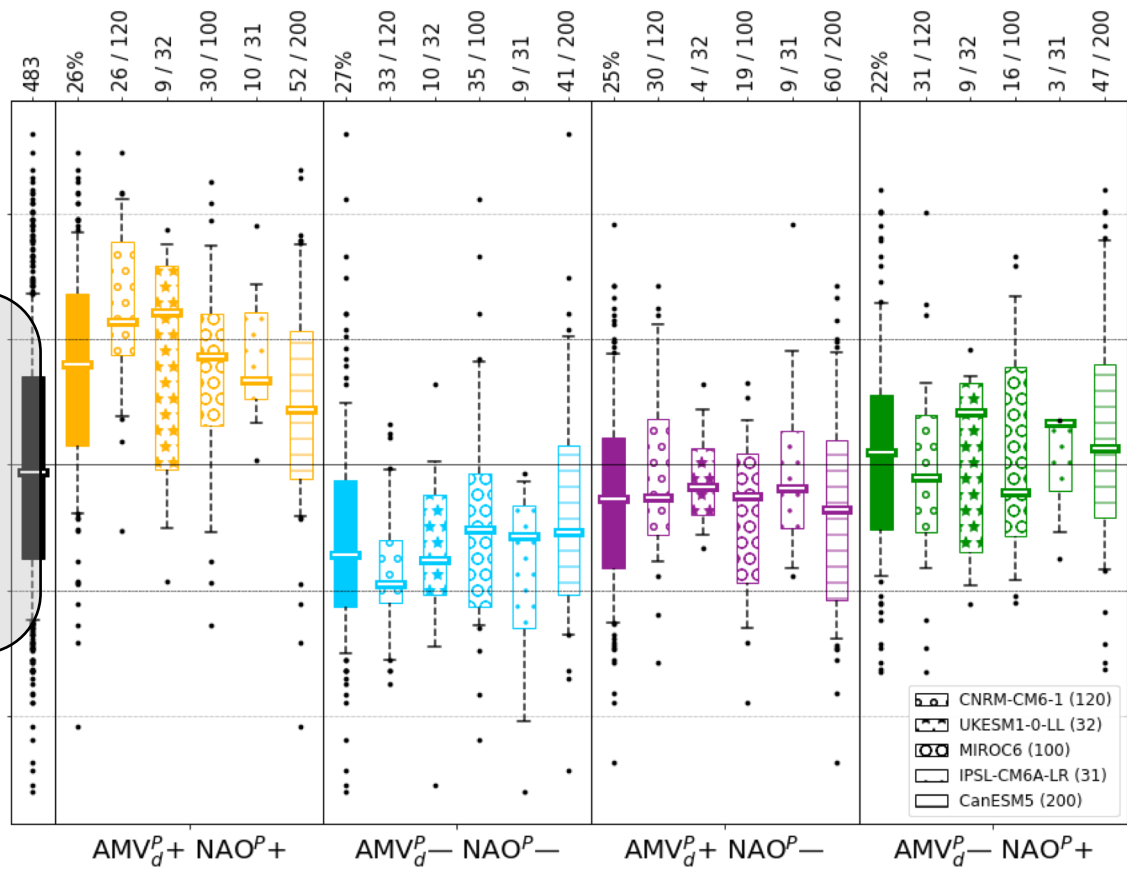
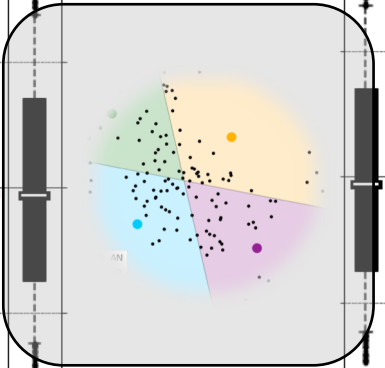
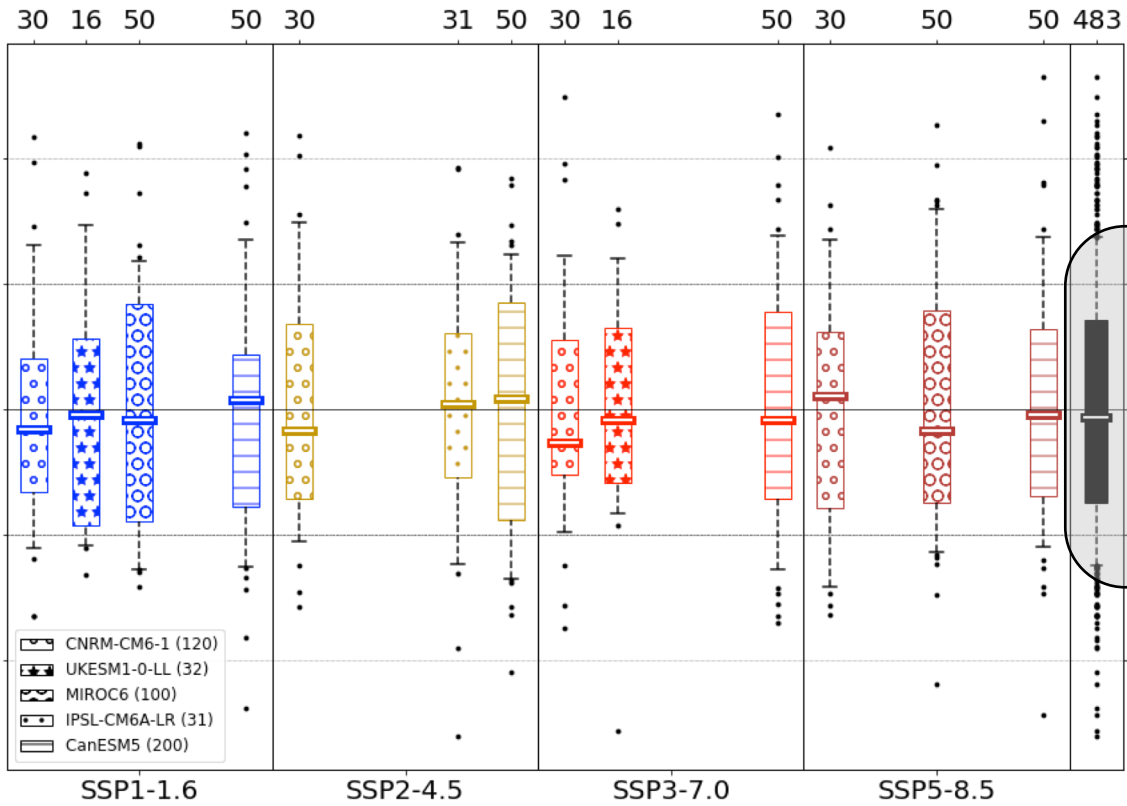
Fraction de variance attribue aux 3 sources d'incertitude par analyse ANOVA



D'après Yip et al. 2011 (BAMS)

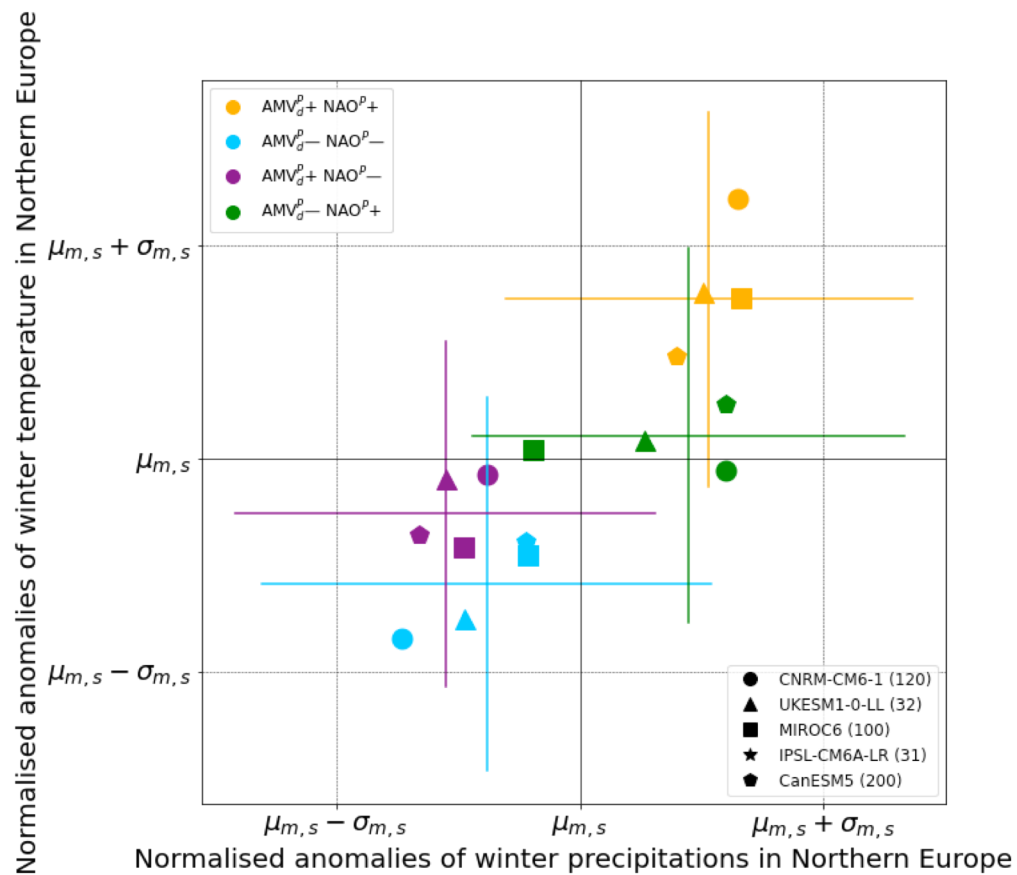
# 5. Le multimodèle

## Les storylines en multi-modeles



## 5. Le multimodèle

# Incertitude modèles des relations storyline-variable d'impact.

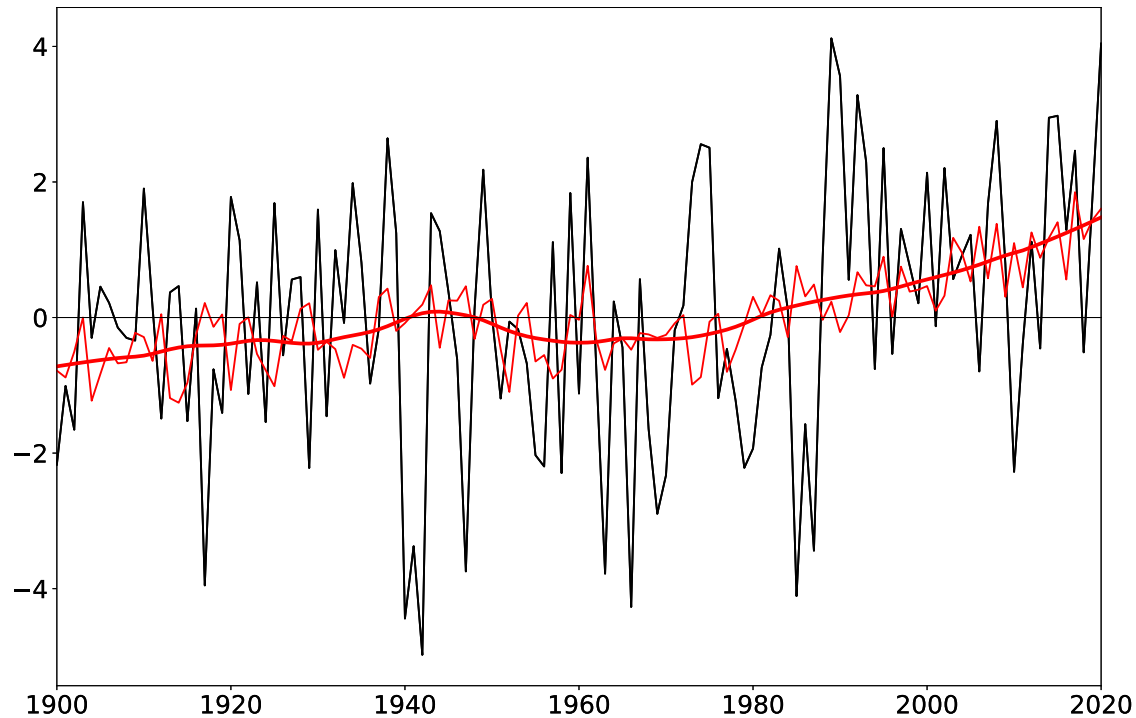




## 6. Approche storyline pour mieux comprendre les observations

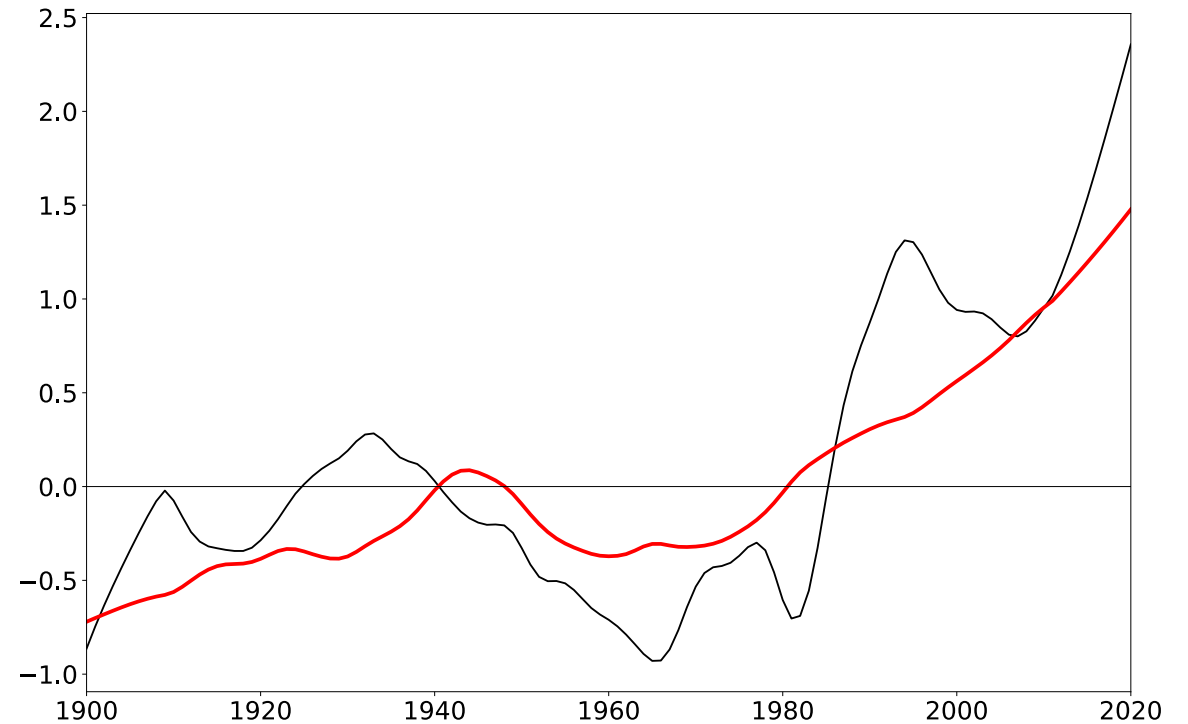
# Modulation des effets anthropiques par la variabilité interne [1]

Anomalie de température sur NEU en JFM  
(Jeux de données de Berkeley)



Moyenne d'ensemble CNRM-CM6 (lissée à 20 ans par Lowess-gras)

Anomalie de température sur NEU en JFM  
(Jeux de données de Berkeley) lissées à 20 ans

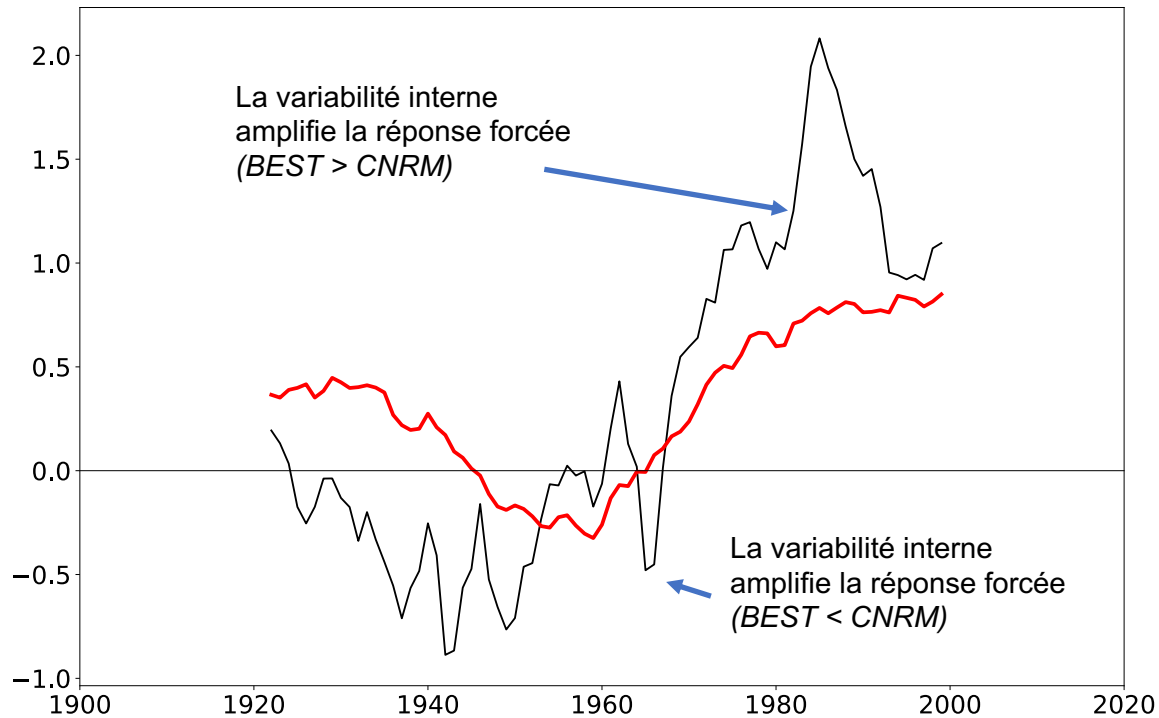


Moyenne d'ensemble CNRM-CM6 (lissée à 20 ans par Lowess)

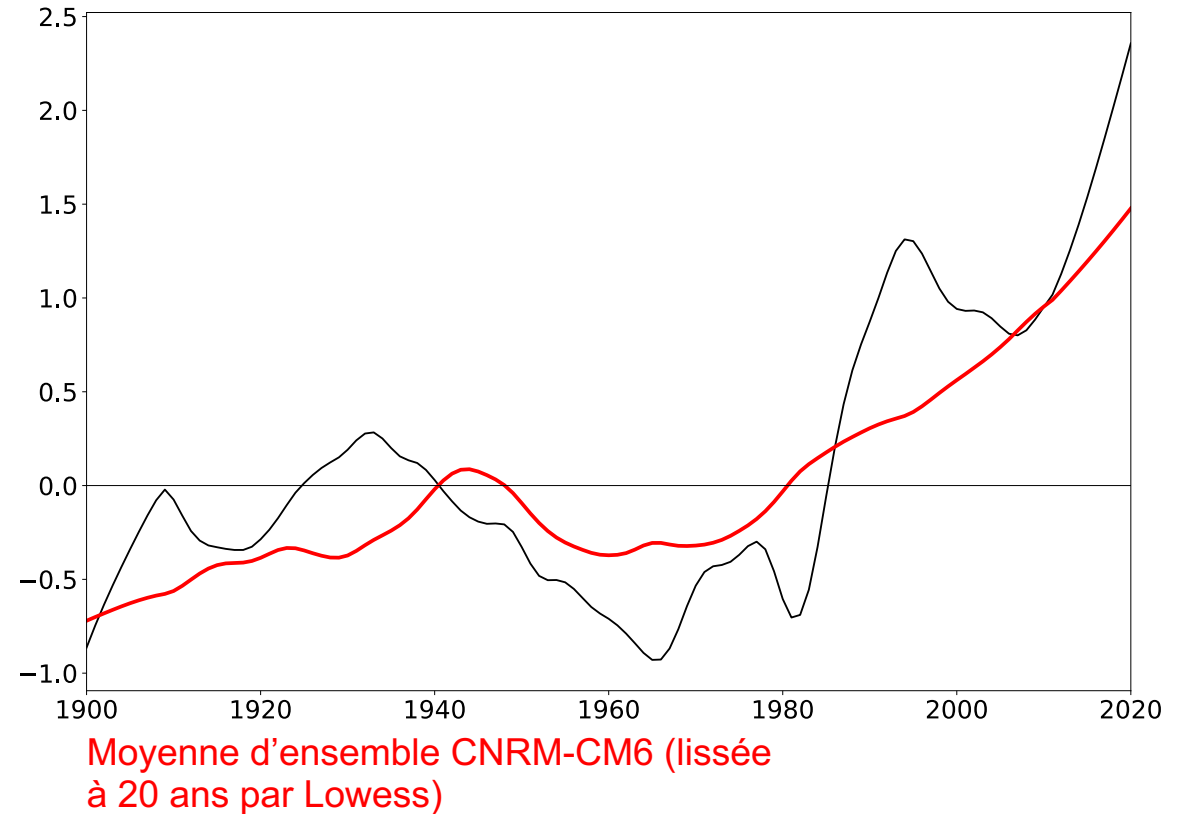
## 6. Approche storyline pour mieux comprendre les observations

# Modulation des effets anthropiques par la variabilité interne [1]

Différence entre période de 20 ans glissantes  
(BEST) et CNRM-CM6



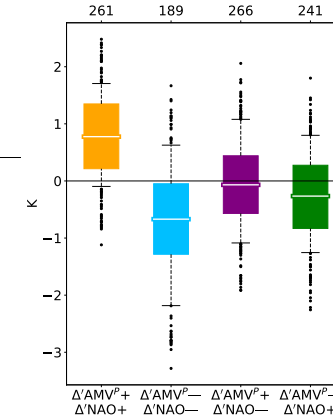
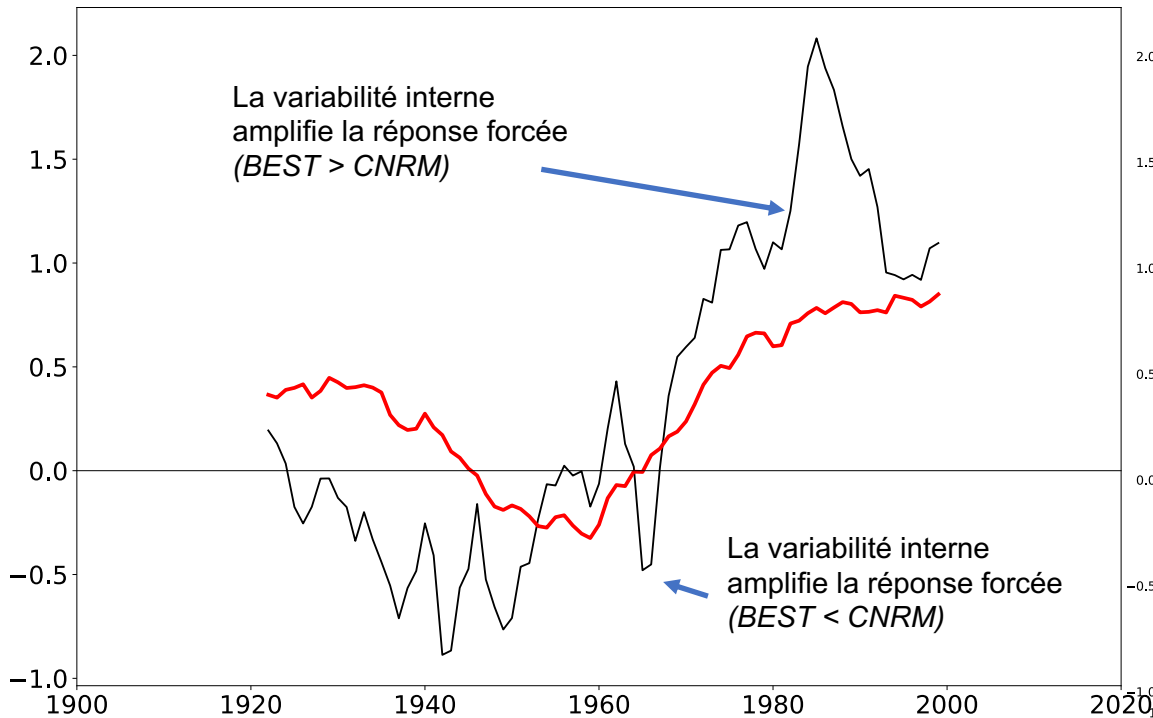
Anomalie de température sur NEU en JFM  
(Jeux de données de Berkeley) lissées à 20 ans



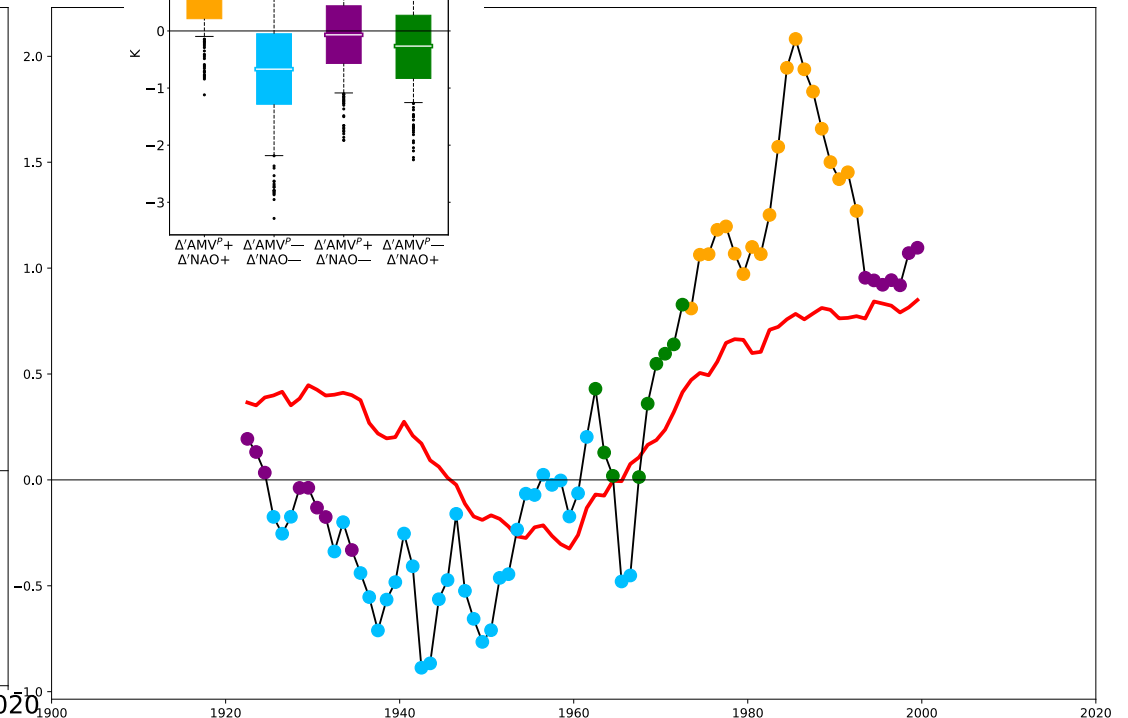
## 6. Approche storyline pour mieux comprendre les observations

# Modulation des effets anthropiques via la prisme des storylines

Différence entre période de 20 ans glissantes  
(BEST) et CNRM-CM6



Attribution de chaque année à une storyline

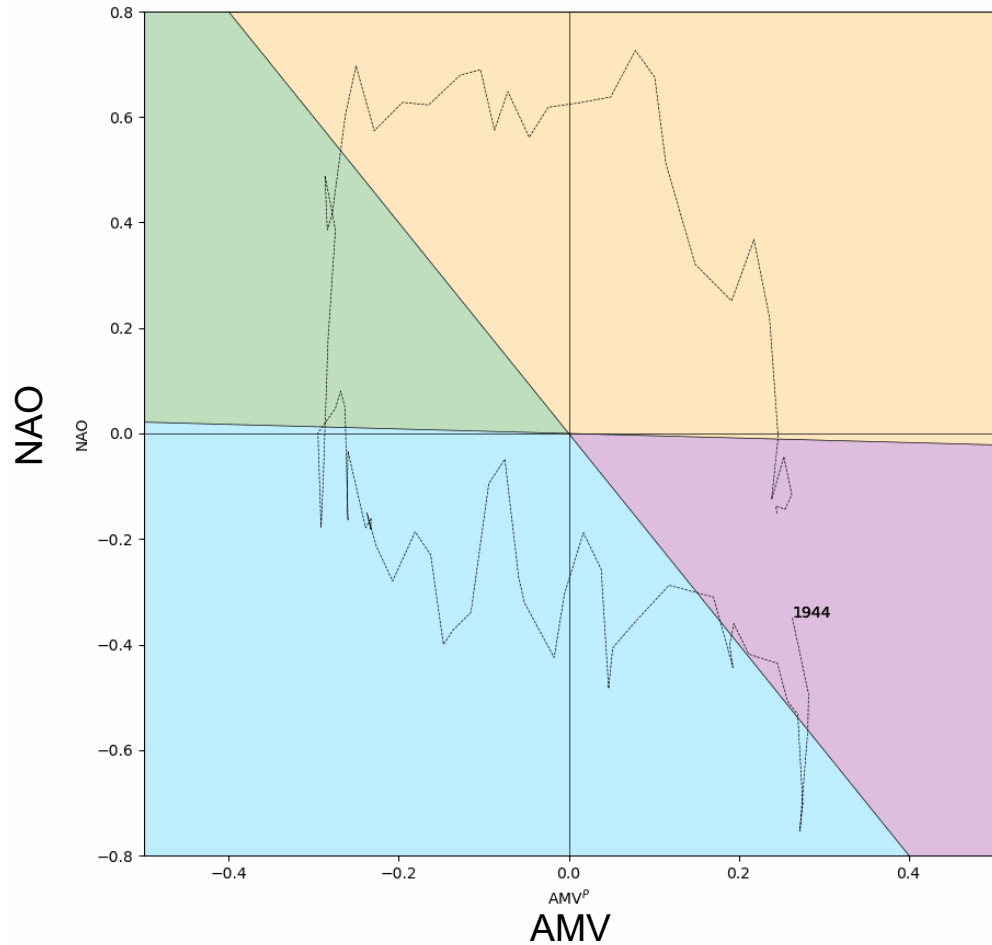


Très bonne cohérence entre évolution temporelle  
en storyline et amplitude des changements

## 6. Approche storyline pour mieux comprendre les observations

### Enjeux, perspective, défi

Evolution observée des drivers de variabilité interne en fonction des années de 1900 à 2021



- Mettre en place des contraintes observationnelles sur les drivers de variabilité interne pour probabiliser les narratifs climatiques futurs estimés par l'ensemble des projections climatiques disponibles et pour *in fine* probabiliser les impacts futurs (extrêmes etc.) afin de mieux adresser les enjeux d'adaptation aux changements climatiques (prise en compte de potentielle amplification du réchauffement?) et d'atténuation (ENR, ressources en eau, etc.)
- Appliquer l'approche storyline aux jeux de prévision décennale et/ou utiliser les prévisions décennales des drivers pour contraindre les projections
- Perspective: appliquer l'approche en storyline pour mieux caractériser/comprendre l'écart à la réponse forcée non seulement pour le climat passé (compréhension des modulations de l'influence humaine sur le climat observe), mais aussi pour les prochaines décennies