

Modélisation climatique de la mer Méditerranée et observations :

Bilan du programme MISTRALS et pensées pour l'avenir

Samuel SOMOT, Robin WALDMAN

CNRM, Météo-France, CNRS, Toulouse, France, samuel.somot@meteo.fr



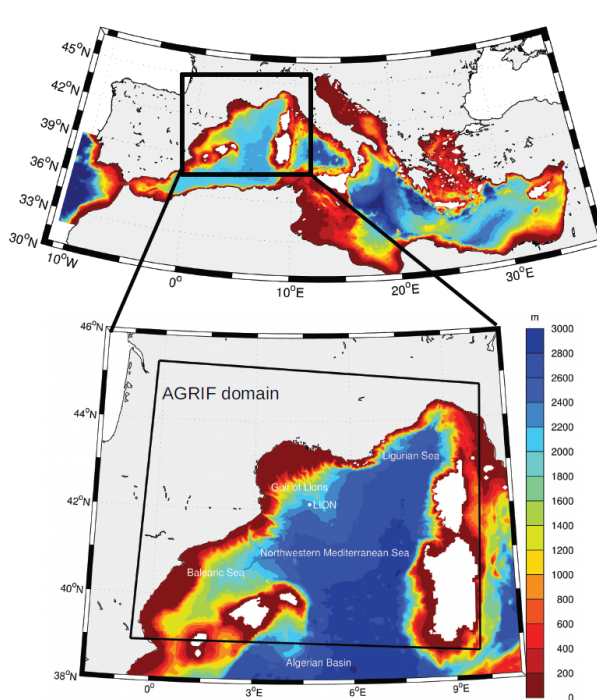
Approches et questions des modélisateurs du climat

- **Modéliser** la mer Méditerranée (ses phénomènes clés et ses interactions)
- **Comprendre** le passé (variabilité, attribution des tendances, évènements)
- **Prévoir** l'évolution future (scénarios, évènements, incertitudes)

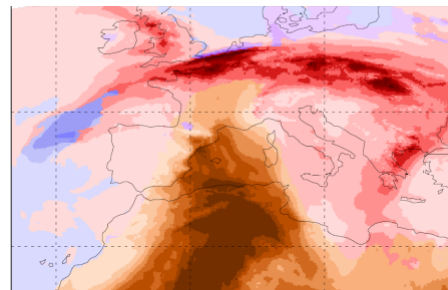
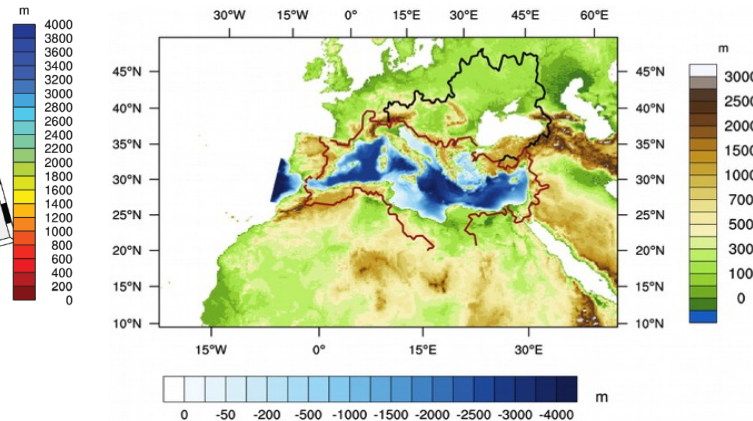
Faire avec les modèles tout ce qu'on ne peut pas faire avec des observations

Modéliser la mer Méditerranée aux échelles climatiques

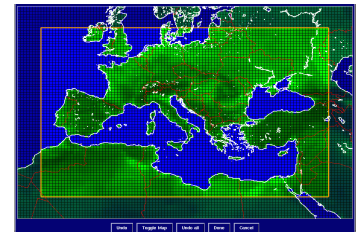
- Entre réalisme et simplification
- Approche intégrée du système climatique régional : mer, atmosphère, rivières, aérosols
- Approche multi-modèle : coordination internationale, club de modélisateurs, Med-CORDEX



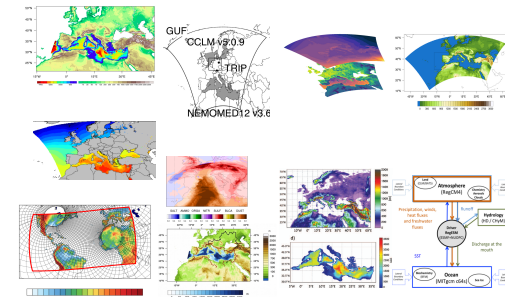
NEMOMED12, Waldman et al. 2017b



CNRM-RCSM6, Darmaraki et al. 2019b



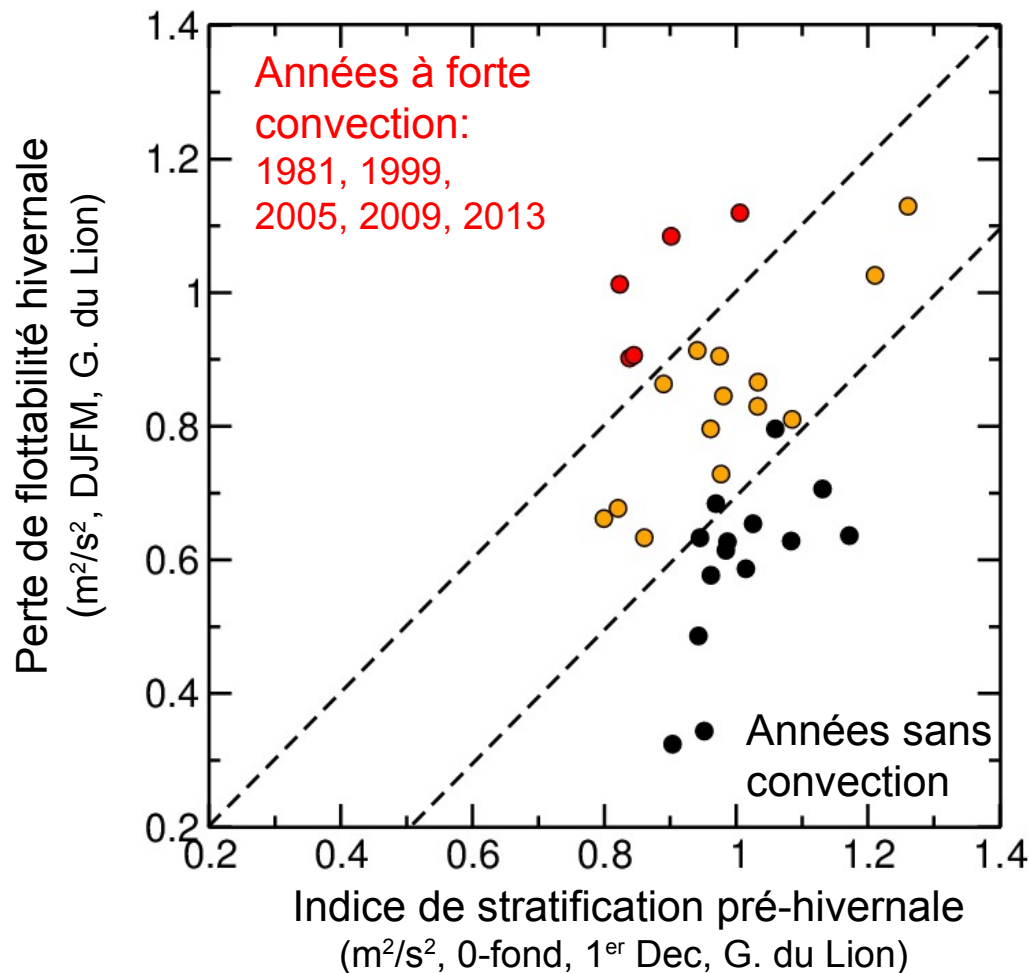
HyMeX



Med-CORDEX initiative

Comprendre l'évolution passée

- ➔ Deux paramètres simples et indépendants expliquent bien (~70 %) la variabilité interannuelle de la formation d'eau profonde en Méditerranée Nord-Ouest



Taux annuel de formation
d'eau profonde
(Sv, G. du Lion, 1981-2013)

$X < 0.05 \text{ Sv}$

$0.05 < X < 0.6 \text{ Sv}$

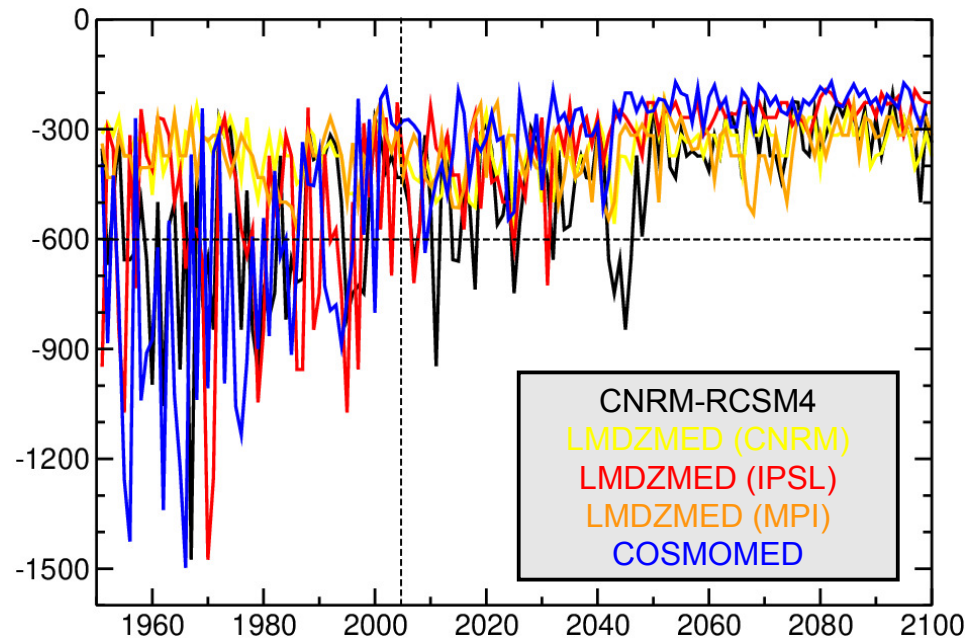
$X > 0.6 \text{ Sv}$

Prévoir et comprendre l'évolution future

➤ Evolution future de la convection océanique profonde en Méditerranée Nord-Ouest

Série interannuel de la profondeur de la couche de mélange

(m, max spatio-temporel, G. du Lion, données quotidiennes, RCP8.5)



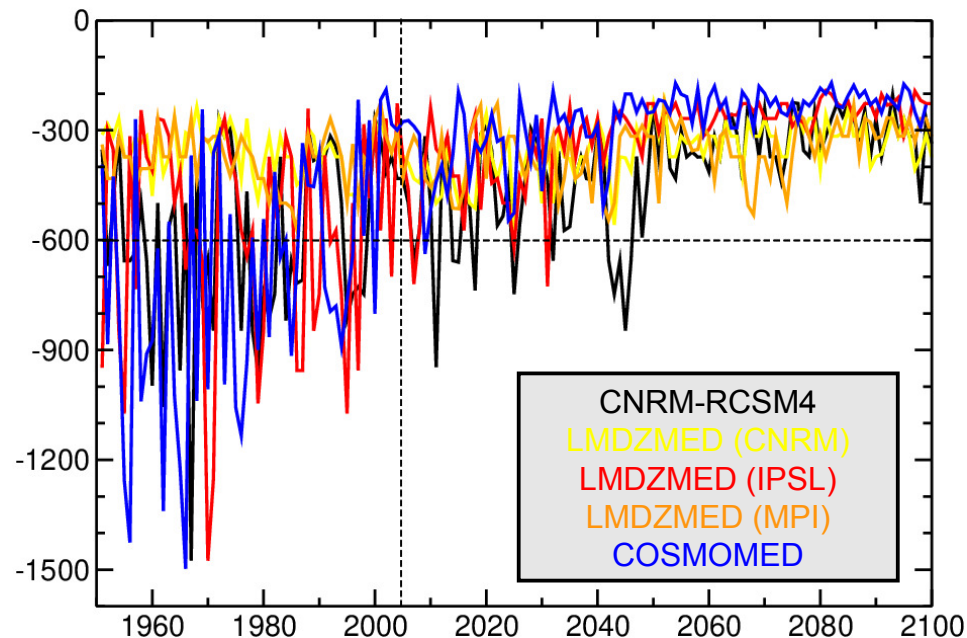
« *There is a model consensus that the intensity of the deep water formation in the Gulf of Lions is expected to decrease in the future.* »

Prévoir et comprendre l'évolution future

➤ Evolution future de la convection océanique profonde en Méditerranée Nord-Ouest

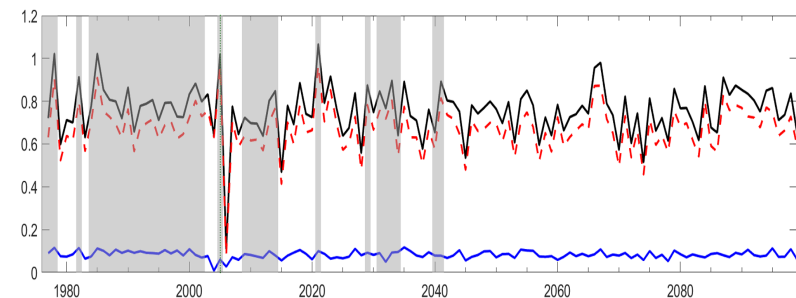
Série interannuel de la profondeur de la couche de mélange

(m, max spatio-temporel, G. du Lion, données quotidiennes, RCP8.5)

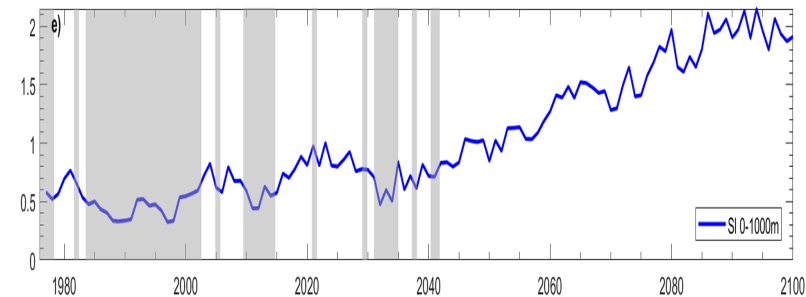


« *There is a model consensus that the intensity of the deep water formation in the Gulf of Lions is expected to decrease in the future.* »

Perte de Flottabilité Hivernale (G. du Lion, m^2/s^2)



Indice de Stratification Pré-hivernale (G. du Lion, m^2/s^2)



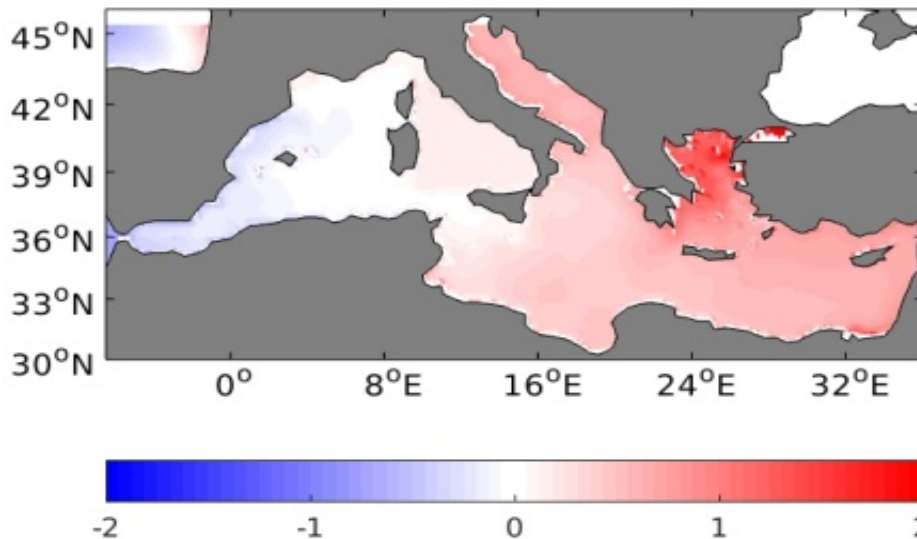
Flottabilité (1976-2099): $0.76 \text{ m}^2/\text{s}^2$
Stratification pre-collapse (2006-2041): $0.72 \text{ m}^2/\text{s}^2$
Stratification post-collapse (2070-2099): $1.81 \text{ m}^2/\text{s}^2$

Prévoir et comprendre l'évolution future

- Forte incertitude dans l'évolution future de la salinité de surface en Méditerranée Ouest

Evolution de la salinité de surface

(-, 2075–2100 vs 1980–2005, RCP8.5, 8 modèles, annuel)



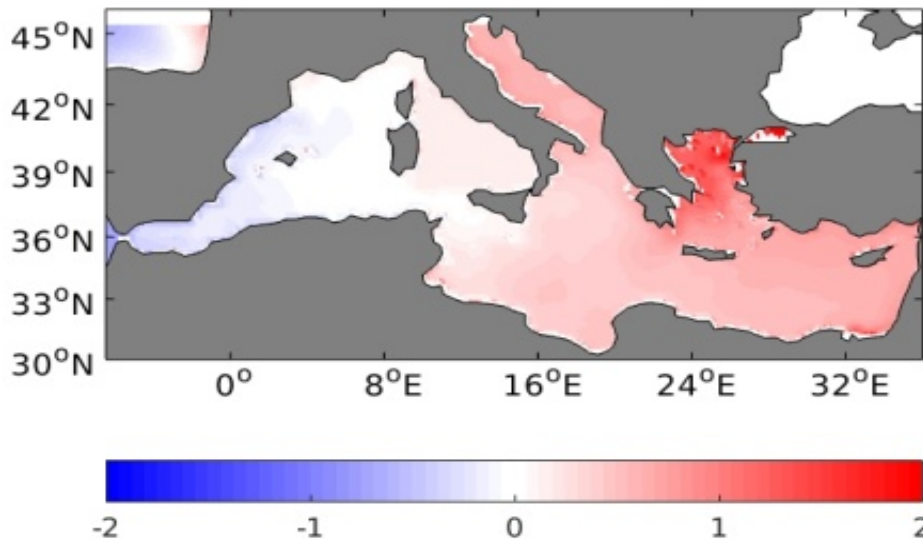
Gamme des valeurs, tous modèles, scénarios : [-0.25, +0.88]

Prévoir et comprendre l'évolution future

- Forte incertitude dans l'évolution future de la salinité de surface en Méditerranée Ouest
- Rôle clé des échanges à Gibraltar

Evolution de la salinité de surface

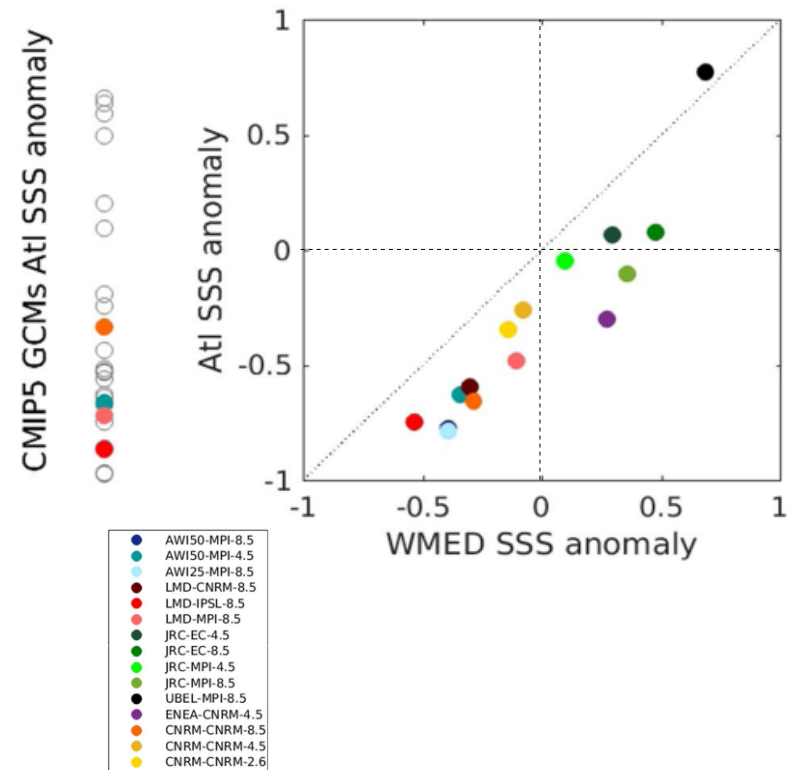
(-, 2075–2100 vs 1980–2005, RCP8.5, 8 modèles, annuel)



Gamme des valeurs, tous modèles, scénarios : [-0.25, +0.88]

Dispersion entre les modèles

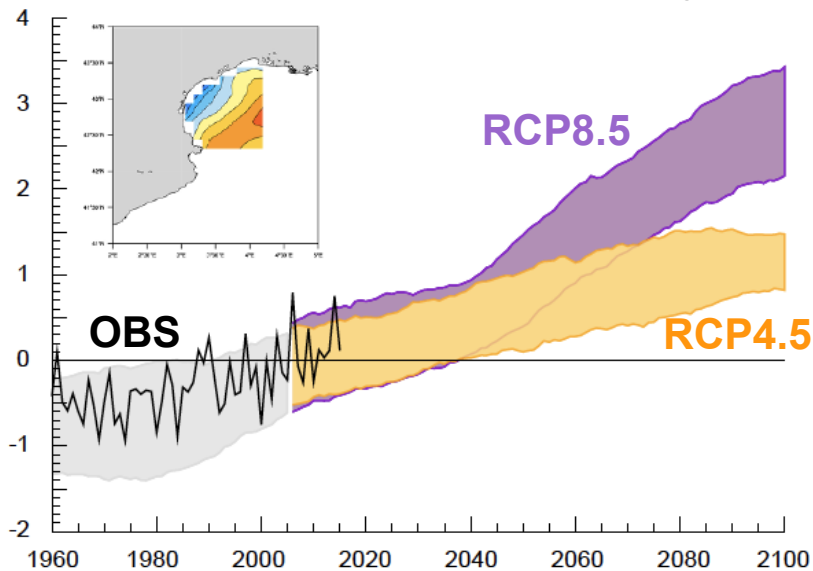
(-, 2075–2100 vs 1980–2005, annuel)



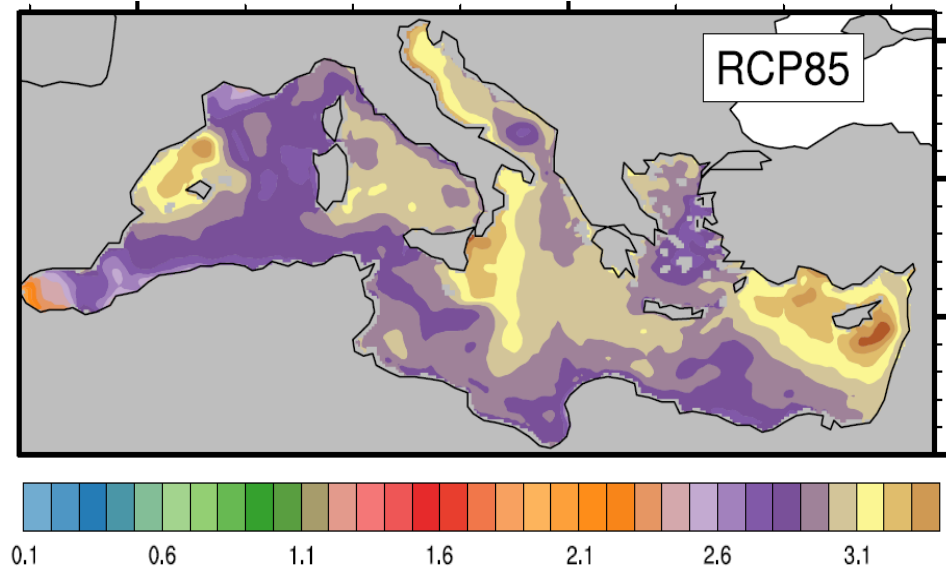
Prévoir l'évolution future, sans comprendre ?

- Evolution de la température de surface de la mer au large de l'Occitanie
- Réchauffement fortement dépendant du scénario socio-économique
- Forte hétérogénéité spatiale non expliquée à ce jour

Série d'anomalies de SST
(ref : 1976-2005, 5 RCSMs, filtrage)



Changement de température de surface
(°C, Annuel, 2071-2100 vs 1976-2005, RCP8.5, 5 RCSMs)



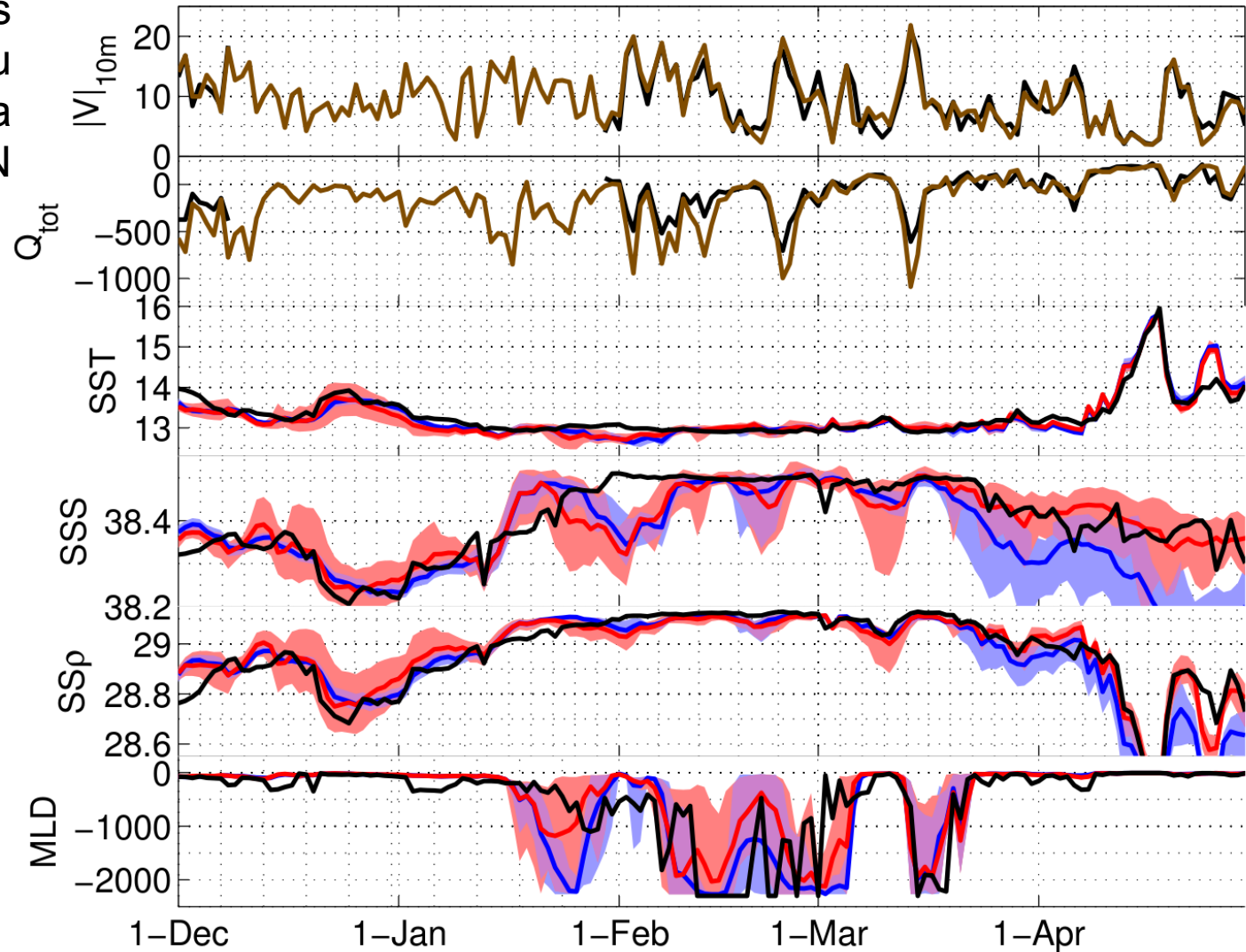
Le rôle des observations

- ➔ **Poser les bonnes questions** ... que les modélisateurs vont chercher à résoudre
- ➔ **Gagner en confiance** dans les modèles par évaluation-calibration-validation des modèles
 - Phénomènes océaniques, processus physiques mal représentés dans les modèles
 - Statistiques du climat : comportement moyen, variabilité, tendances passées
 - Trier entre bons et mauvais choix de modélisation
- ➔ **Se combiner avec les modèles (assimilation)** pour contribuer aux réanalyses du passé
- ➔ Constituer des **analogues vécus du futur prévu**
- ➔ Evaluer-calibrer-valider les **produits satellites**

Gagner en confiance dans les modèles

➤ L'année convective 2012-2013 en Méditerranée Nord-Ouest : the « Golden Case »

Séries quotidiennes
du 1^{er} Décembre au
30 Avril à la
bouée/mouillage LION

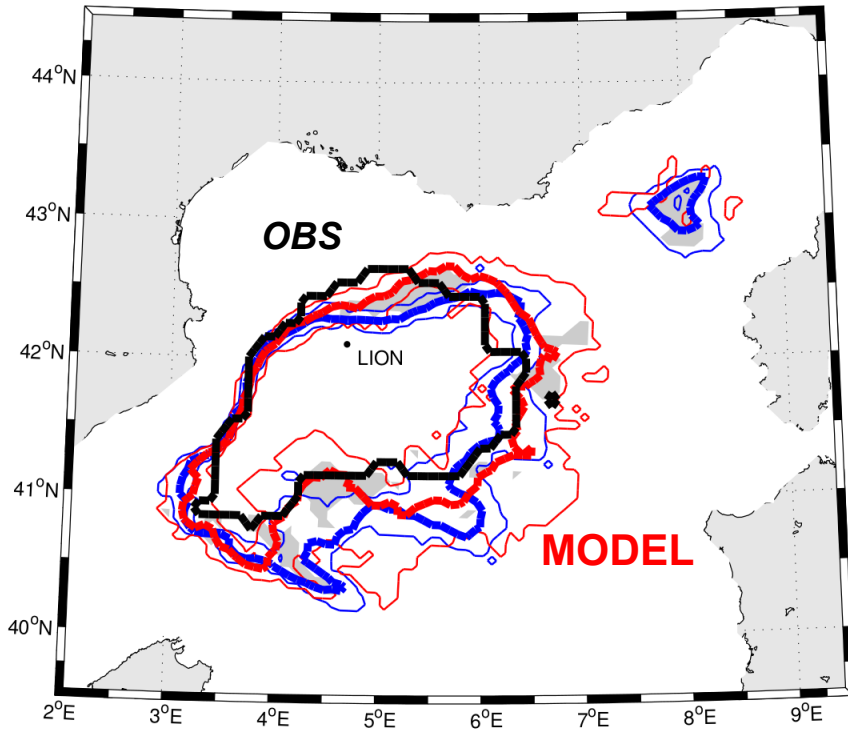


MODEL
MODEL
OBS

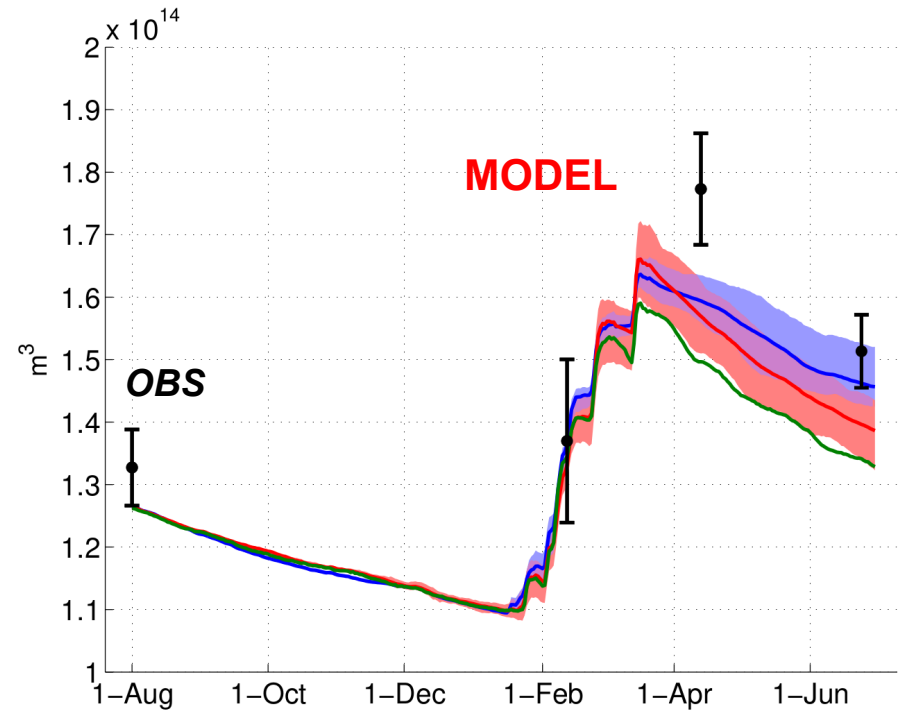
Gagner en confiance dans les modèles

➤ L'année convective 2012-2013 en Méditerranée Nord-Ouest : the « Golden Case »

Extension maximale de la zone convective
(> 1000m, G. du Lion)



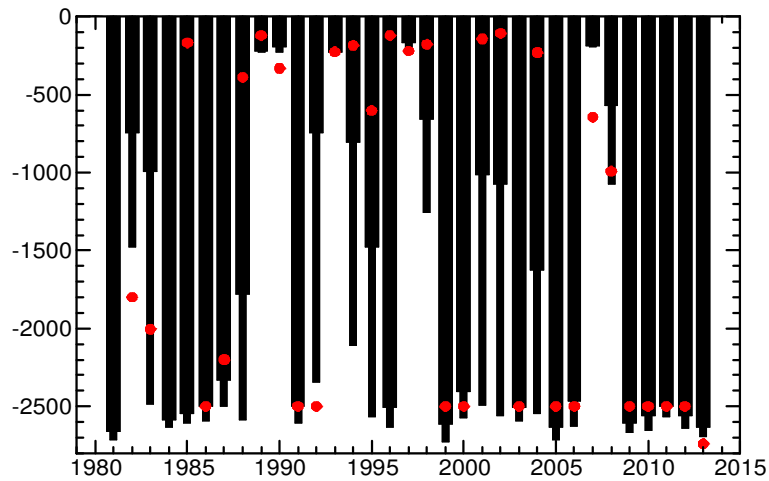
Série quotidienne du volume d'eau dense
(m^3 , $\sigma_0 > 29.11 \text{ kg/m}^3$, G. du Lion)



Gagner en confiance dans les modèles

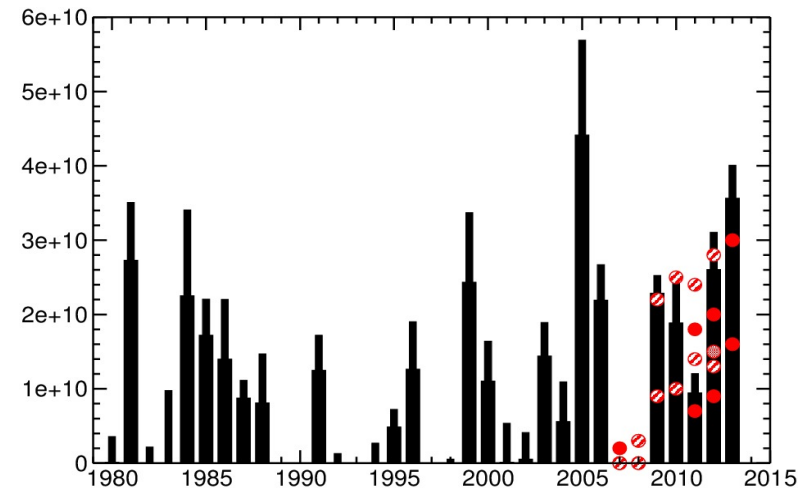
- La variabilité interannuelle de la convection profonde en Méditerranée Nord-Ouest

Profondeur maximale de la couche de mélange
(m, max spatio-temporel, G. du Lion)



Corr : 0.65

Extension maximale de la convection
(m², MLD > 600 et 1000m, G. du Lion)



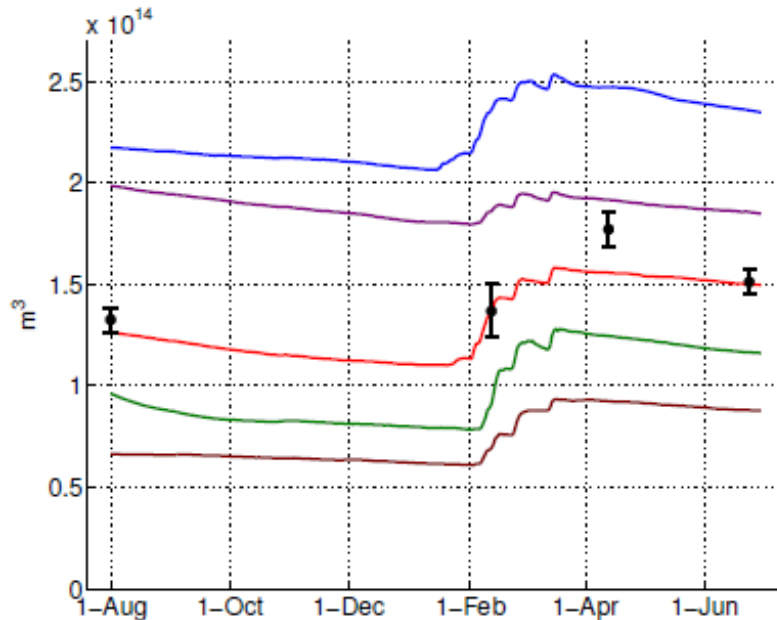
Model **Obs**

Gagner en confiance dans les modèles

- Tests modèle affectant la représentation de la convection océanique profonde
- Trier entre les bons et les mauvais choix de modélisation

Série quotidienne du volume d'eau dense

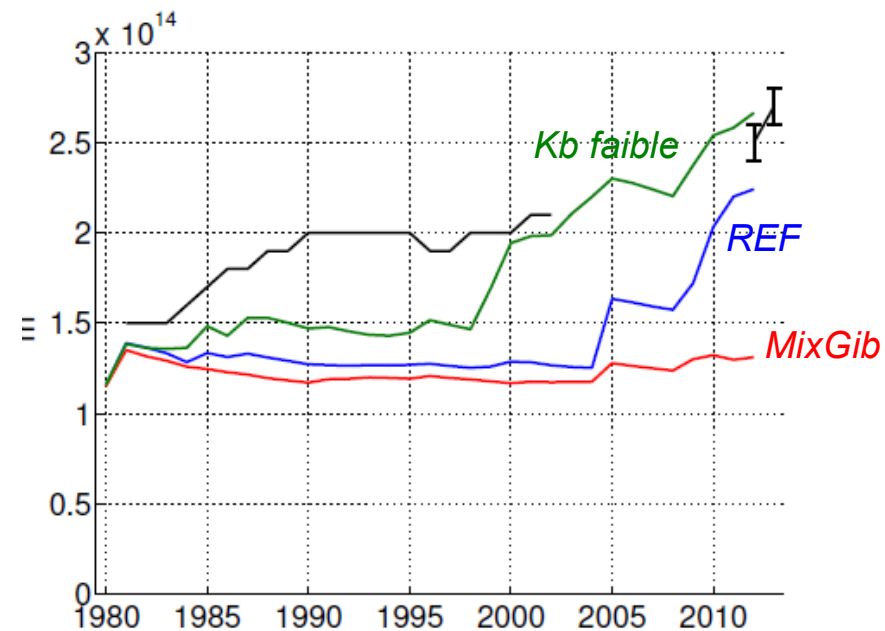
(m^3 , $\sigma_0 > 29.11 \text{ kg/m}^3$, G. du Lion, 2012-2013, $H > 2000\text{m}$)



Tests sur l'initialisation du modèle

Série interannuel du volume d'eau dense

(m^3 , $\sigma_0 > 29.10 \text{ kg/m}^3$, G. du Lion)

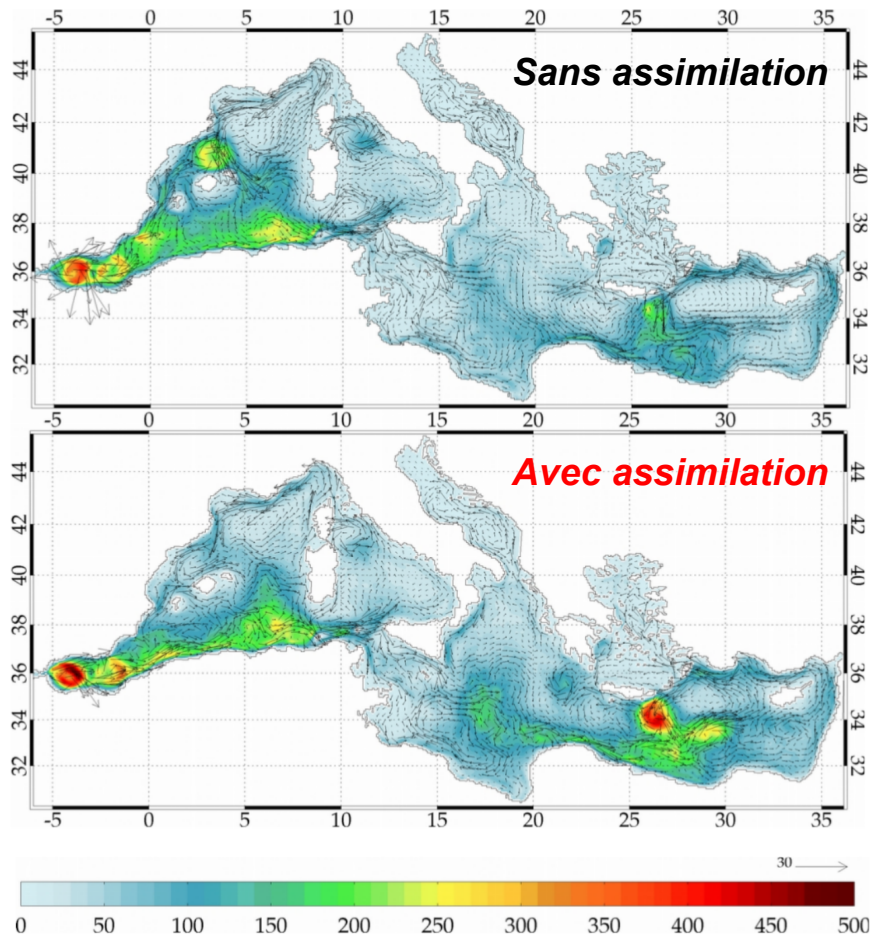


Tests sur la paramétrisation du mélange verticale

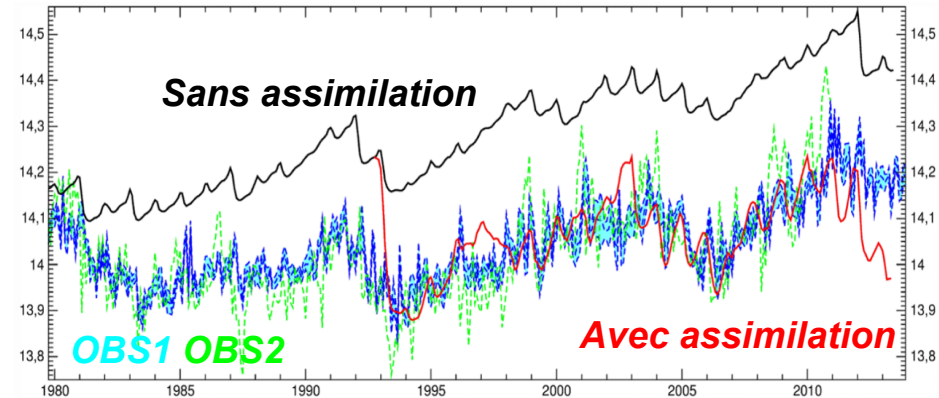
Se combiner aux modèles → réanalyse

- Comparaison entre modèle libre et réanalyse régionale avec assimilation de données

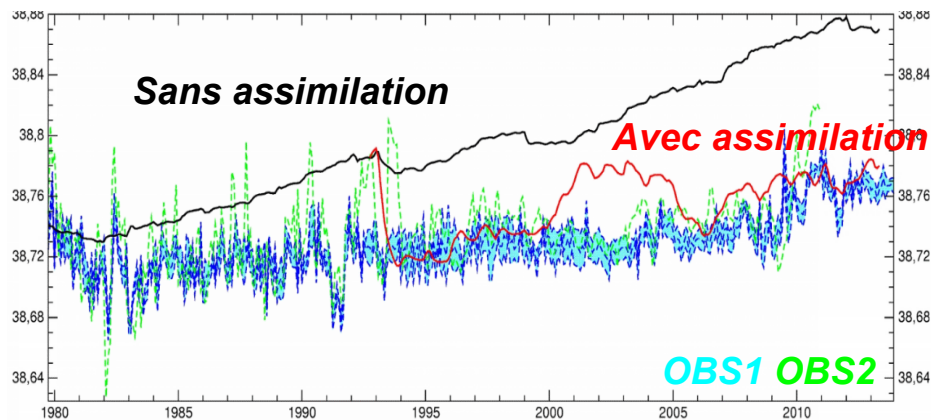
Energie cinétique turbulente et courant
(cm^2/s^2 , cm/s , 1992-2013, 40m)



Contenu thermique
($^{\circ}\text{C}$, 150-600m, Mer Méditerranée)



Contenu salin
(-, 150-600m, Mer Méditerranée)

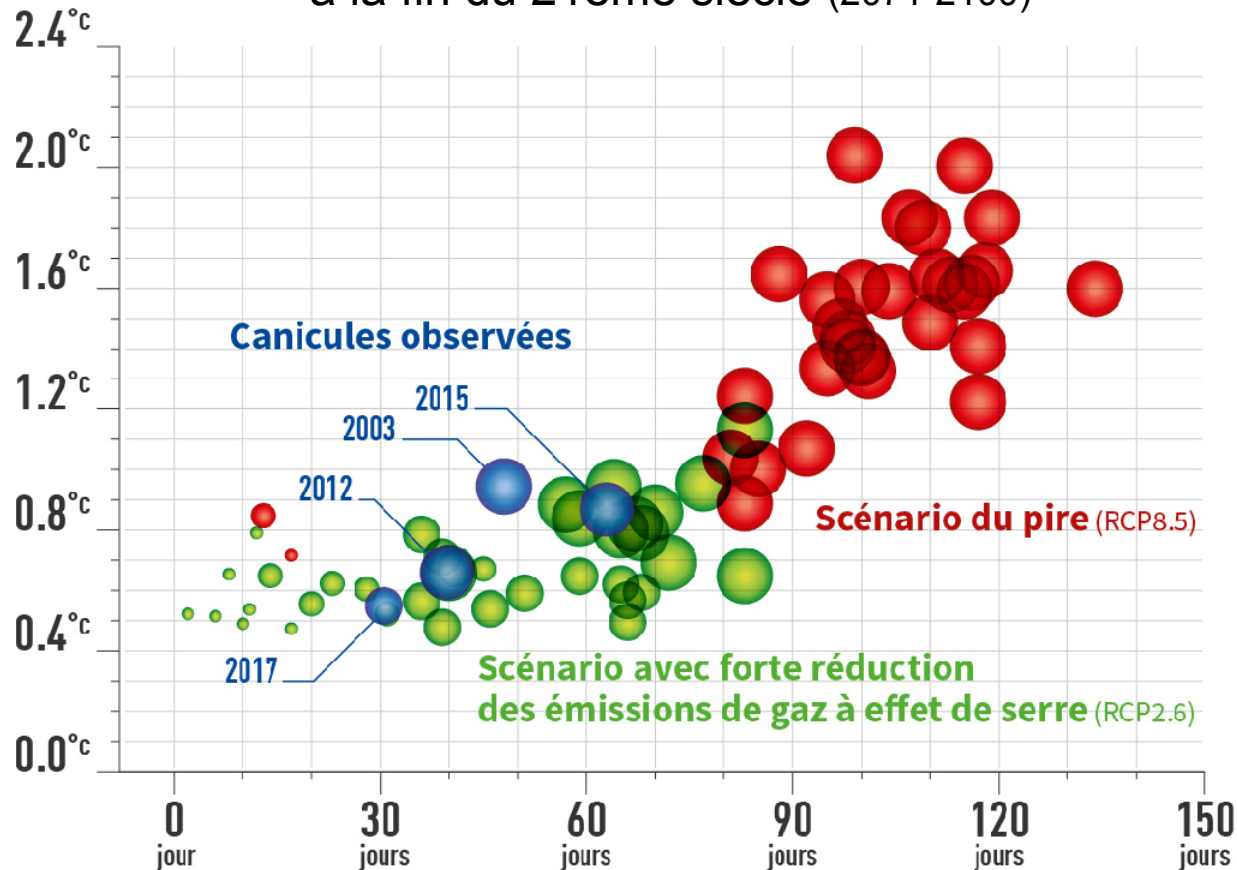


Constituer des analogues vécus du futur prévu

➤ Caractérisation de l'évolution des canicules marines au 21ème siècle

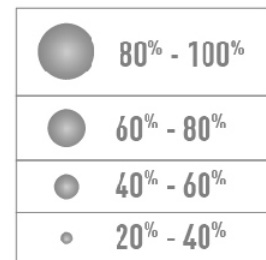
Intensité, durée et extension spatiale
des canicules marines en Méditerranée
à la fin du 21ème siècle (2071-2100)

INTENSITÉ
moyenne



EXTENSION

% maximal de la superficie
de la mer Méditerranée



DURÉE
nombre de jours
consécutifs

Les besoins en terme d'observations

PENDANT MISTRALS (2010-2020)

- Bilans température et sel :
 - Sections Minorque-Sardaigne et Corse-Continent
 - Flux air-mer
- Contrôler processus de mélange : turbulence, ondes internes

APRES MISTRALS

- Pérenniser le suivi climatique :
 - **Séries temporelles longues et fixes** (bouées de surface incl. atmosphère, mouillages profonds, MOOSE-GE, stratification verticale, profondeur maximale annuelle de la convection, masses d'eau aux détroits de Gibraltar et Sicile)
 - **Mesures T-S- σ homogènes en temps et espace** (produire des jeux de données grillés, initialiser les modèles, assimiler)
- Etudier les processus clés ou phénomènes climatiques d'intérêt :
 - Campagnes de mesures dédiées
 - Forum de discussions observateurs/modélisateurs/instituts/financeurs