



Régionalisation dynamique des conditions de vague dans le Golfe de Gascogne pour différents scénarios futurs d'émission de gaz à effet de serre

Elodie CHARLES

Thèse financée par AXA Research Fund

Co-encadrement Météo France et BRGM : Pascale DELECLUSE et Déborah IDIER



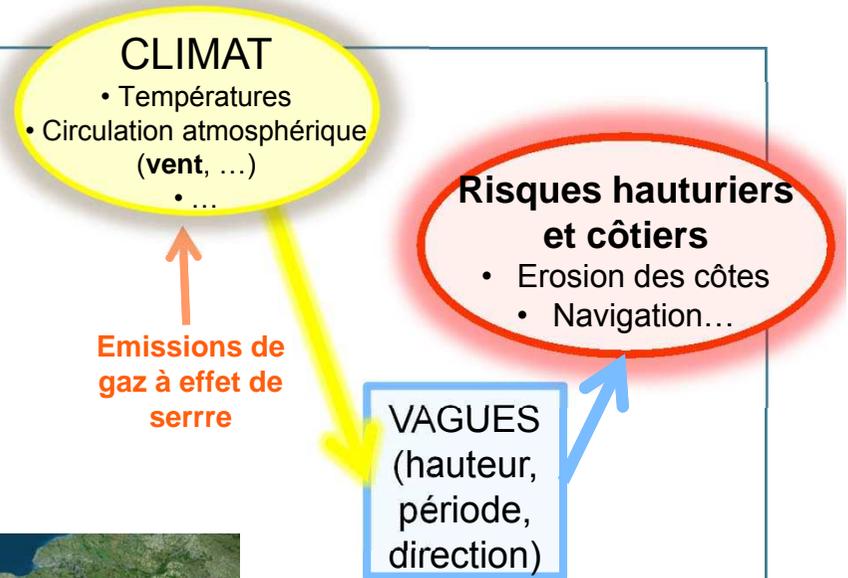
Introduction

- > **Problématique** : l'impact des changements climatiques sur le climat de vagues passé (~1960-2000) et futur (~2060-2100) en zone côtière

- > **Site d'étude** :

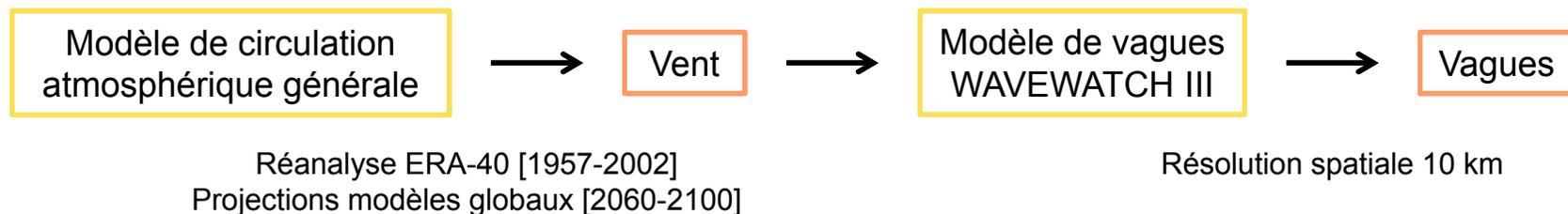


- > **Objectif** : Caractériser les changements de hauteur, période et direction à l'horizon 2100 dans le Golfe de Gascogne



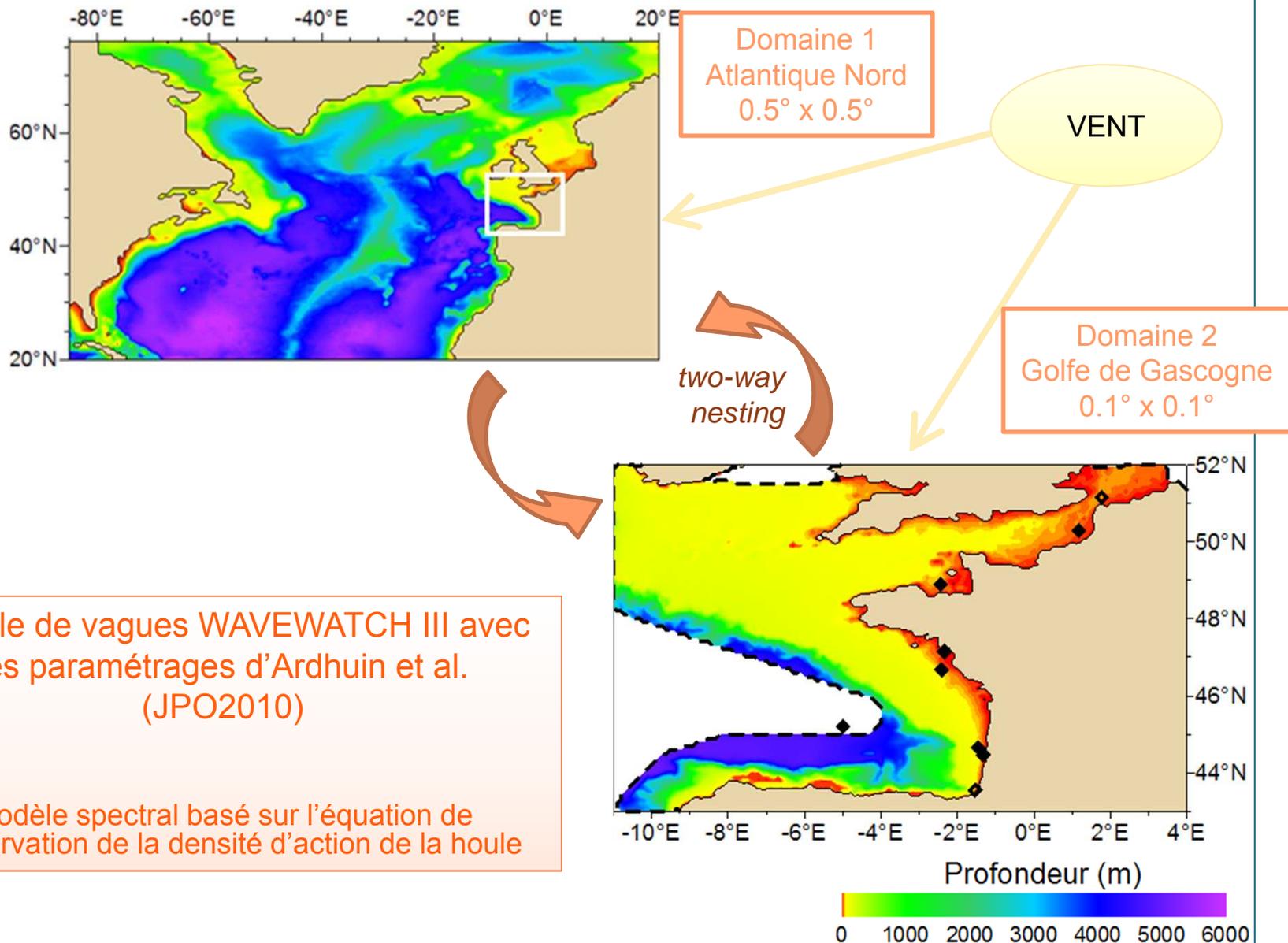
Régionalisation dynamique des vagues passées et futures dans le Golfe de Gascogne

- > **Constat** : pas de données d'états de mer sur de longues périodes (≥ 40 ans) passées et futures, avec une couverture spatiale fine (≤ 10 km) de la zone littorale aquitaine
- > **Solution choisie** : la modélisation numérique

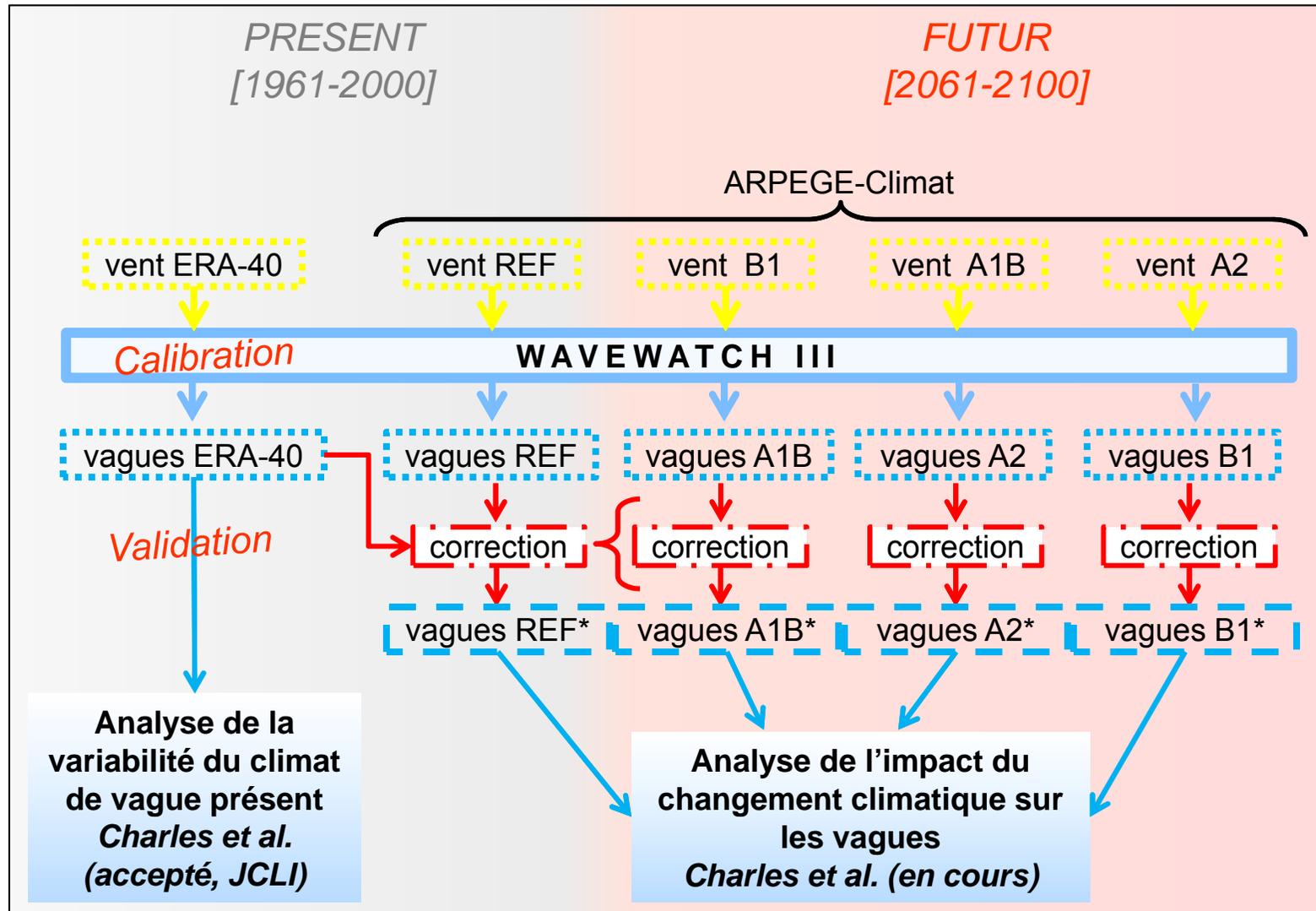


Régionalisation des vagues

Mise en place du modèle de vague WAVEWATCH III



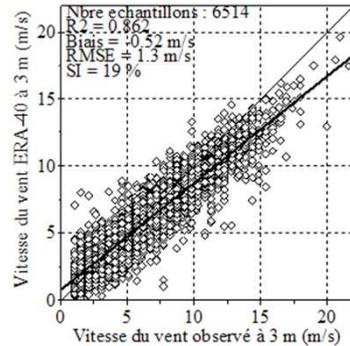
Jeux de données et méthodologie



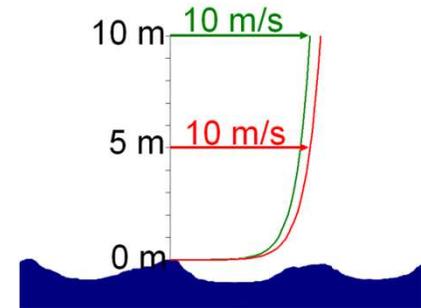
Calibration du modèle avec les champs de vent d'ERA40

> Vitesse du vent sous-estimée par ERA-40 à la bouée Gascogne

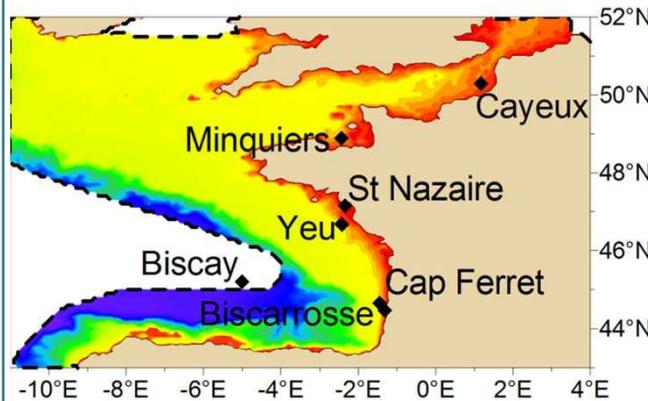
Comparaison
ERA-40 et
mesure
[1998-2002]



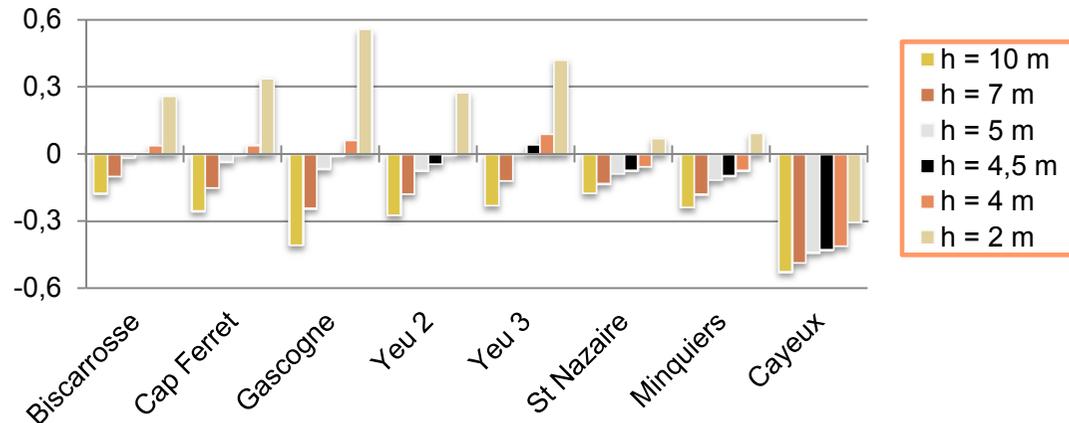
Modification de
la hauteur du
vent en entrée
du modèle



> Calibration basée sur 8 bouées de juillet 1998 à août 2002



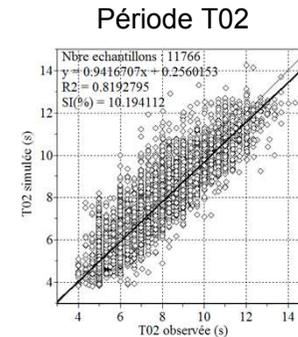
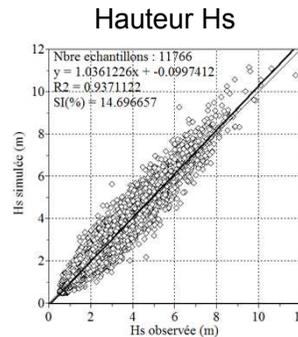
Biais des hauteurs de vagues (m) pour différentes hauteurs de vent h



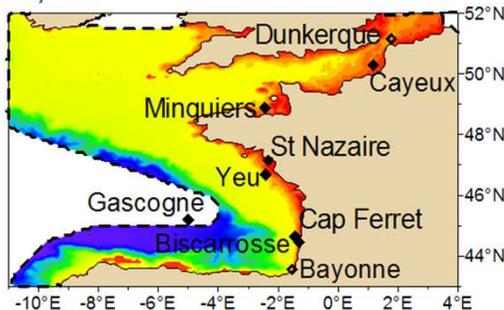
→ Statistiques (biais, R^2 , erreur RMS, indice de dispersion) optimales pour les hauteurs, périodes et directions des vagues dans le Golfe de Gascogne pour $h = 4,5$ m

Eléments de validation du modèle

Bouée Gascogne [1998-2002]



> Comparaison avec mesures de 11 bouées de 1980 à 2002, dont 2 bouées directionnelles

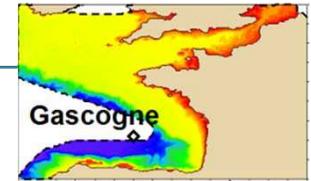


	Période	Prof.	Hauteur significative				Période moyenne T02				Direction pic	
			Biais	RMSE	R ²	SI	Biais	RMSE	R ²	SI	Biais	RMSE
Bayonne	1989-1992	20 m	-10 cm	39 cm	0,87	23%	1,27 s	1,85 s	0,66	19%	-	-
Biscarrosse	1980-2000	26 m	10 cm	35 cm	0,87	24%	0,90 s	1,71 s	0,56	22%	-	-
Cap Ferret	2001-2002	54 m	0 cm	28 cm	0,92	15%	0,84 s	1,38 s	0,70	16%	-	-
Gascogne	1998-2002	4500 m	-1 cm	38 cm	0,94	15%	-0,17 s	0,77 s	0,82	10%	-	-
Yeu 1	1992-1998	47 m	-9 cm	32 cm	0,93	16%	0,62 s	1,24 s	0,71	17%	-	-
Yeu 2	1998-2000	32 m	-4 cm	28 cm	0,92	16%	0,69 s	1,14 s	0,70	15%	-3	24
Yeu 3	2000-2002	32 m	4 cm	30 cm	0,94	16%	0,80 s	1,35 s	0,71	17%	-	-
St Nazaire	1999-2002	17 m	-7 cm	25 cm	0,77	30%	1,14 s	1,89 s	0,36	33%	-	-
Minquiers	1992-2000	38 m	-9 cm	26 cm	0,88	20%	0,10 s	1,13 s	0,55	21%	0°	36°
Cayeux	1999-2001	25 m	-43 cm	58 cm	0,85	29%	-0,16 s	1,03 s	0,16	23%	-	-
Dunkerque	2000-2002	25 m	-33 cm	45 cm	0,76	31%	-0,40 s	0,79 s	0,23	17%	-	-

> Champs de vagues dans le Golfe de Gascogne à une résolution de 10 km et sur la période 1958-2002 (44 ans)

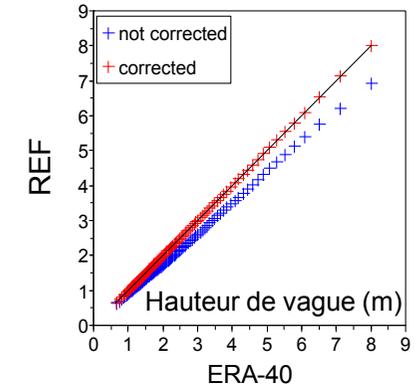
- Hauteurs : très proches des mesures ($0.76 < R^2 < 0.94$)
- Périodes : biais positif (façade atlantique : -0.17 s à 1.27 s)
- Directions : proche des mesures, sauf pour mer de vent (biais 0° à -3°)
- **Qualité au moins égale aux autres modèles existants (ANEMOC, Bertin et Dodet (GCGC2010), ERA-40 vagues)**

Correction quantile-quantile des projections de vague

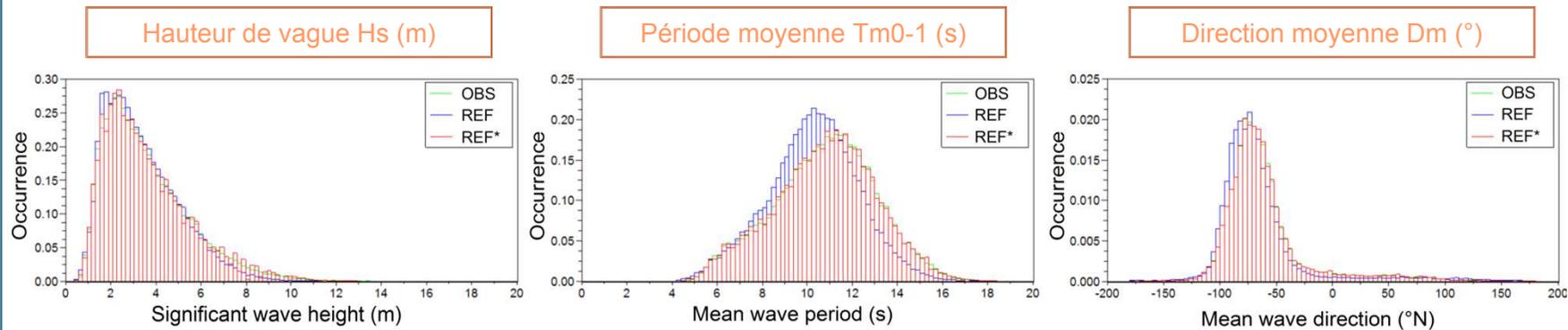


Correction des erreurs systématiques des modèles de circulation atmosphérique générale

- Construction de la correction sur les champs de vague actuels : les centiles saisonniers des H_s , T_{m0-1} et D_m du jeu de données REF sont corrigés pour être égaux à ceux d'ERA-40
- La correction ainsi construite est appliquée aux jeux de données de vague futurs (A2, A1B, B1)

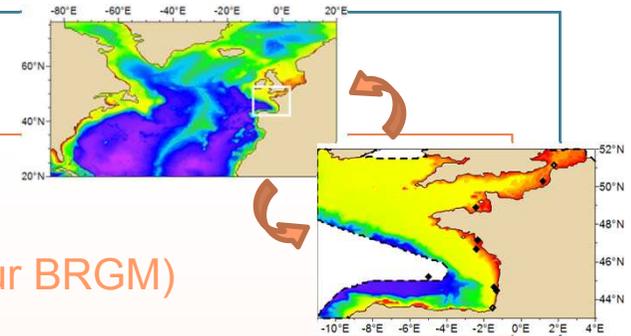


Exemple à la bouée Gascogne en hiver:
Histogrammes des vagues non corrigées REF et corrigées REF* comparées à ERA-40 (OBS)



→ Les paramètres de vague sont corrigés indépendamment en chaque point et pour chaque saison

Temps de calcul et espaces de stockage



Utilisation intensive des calculateurs :

1) Calibration du modèle effectuée sur DOGGER (calculateur BRGM)

2) Climat actuel : simulation sur 44 années passées (forçage vent ERA-40) effectuées sur PHOEBUS (calculateur Centre de Calcul de la Région Centre, 2009)

6 jours de calcul sur 192 cœurs pour 44 années

3) Climat futur : simulations sur 1 scénario de référence et 3 scénarios futurs de 40 années chacun (forçage vent ARPEGE) sur JADE (calculateur CINES/GENCI, 2010)

4 x 3,5 jours de calcul sur 128 cœurs pour 40 années = 14 jours

Espace de stockage pour les sorties de WW3 : 1,2 To

- Fichiers de sortie binaires
- Spectres de vague \rightarrow Energie(t , fréquence, direction), $dt=1h$
- Grille Golfe de Gascogne (H, T, D , $dt=3h$)
- Bouées (H, T, D , $dt=1h$)

*Remarque : modélisation des vagues à haute résolution spatio-temporelle sur un 3^e domaine (côte aquitaine, 1km x 1km) réalisée sur DOGGER , PHOEBUS et JADE
~5x70 heures de calcul sur 128 cœurs et 700 Go de données stockées*

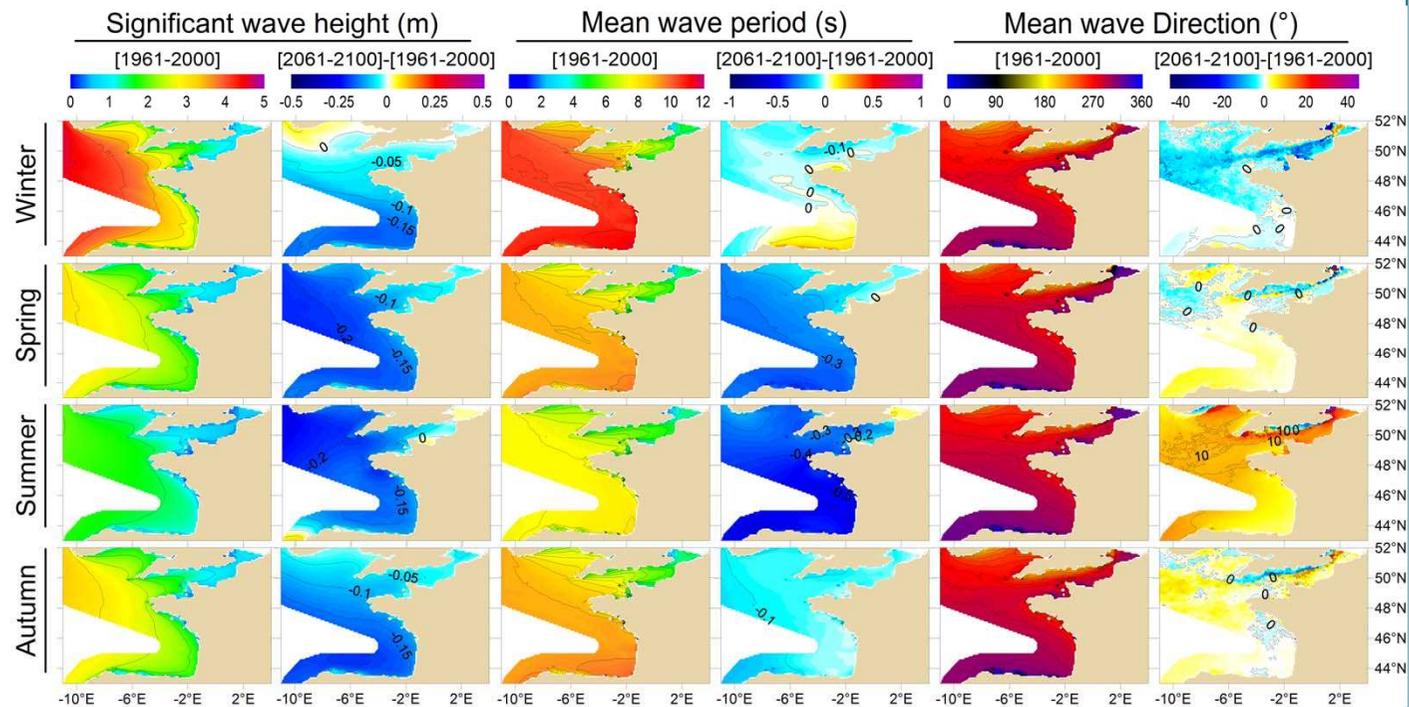
Analyse de l'impact du changement climatique [2061-2100] – [1961-2000]

Climat futur/actuel : scénario A2 à l'échelle régionale

Principaux changements entre les climats de vague actuel (1961-2000) et futur (2061-2100) dans le Golfe de Gascogne

	Hs	Tm	Dm
Hiver	-		
Printemps	--	--	
Eté	--	--	++
Automne	--	-	

Hauteur, période et direction moyennes pour le climat actuel (1ères colonnes) et changements entre scénarios REF et A2 (2des colonnes) pour chaque saison



- Pas d'augmentation des Hs, au contraire, diminution pour toutes les saisons
- Peu de changements en hiver : diminution des Hs (-5 à -15 cm), T et D stables
- Le plus de changements en été : forte diminution des Hs (-10 à -20 cm pour des Hs < 1.5 m) et diminution des T (-0.5 s), décalage des directions vers le Nord (+6°)

Zoom sur les conditions de vague

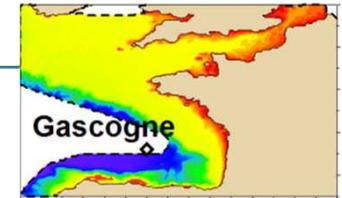
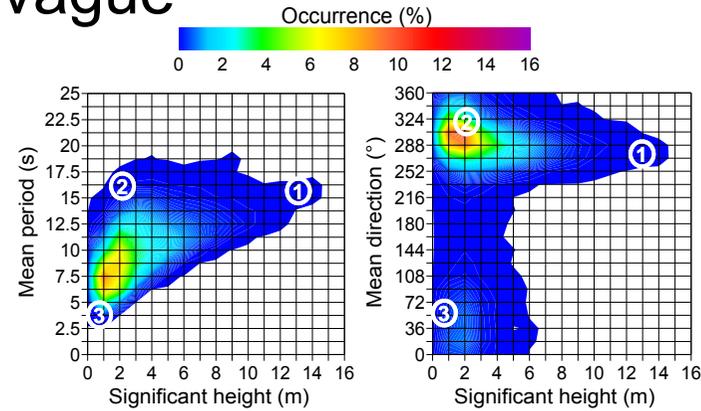


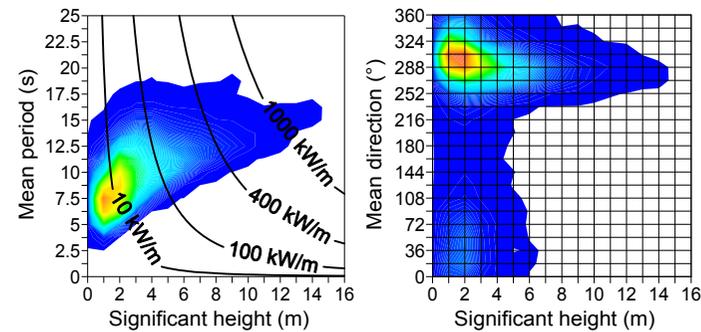
Diagramme bivarié de l'occurrence des vagues à la bouée Gascogne de 1961 à 2000 (REF)

Exemples de tempête (1), houle (2), mer de vent (3)



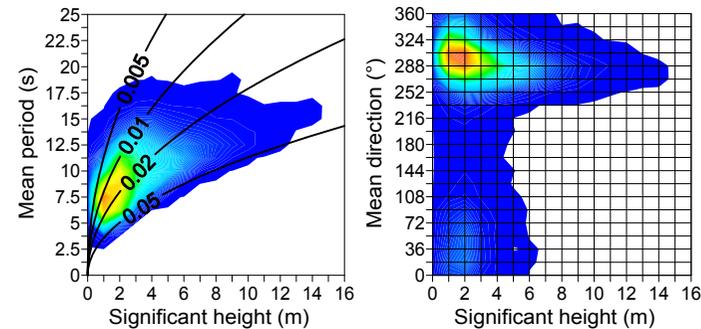
Flux d'énergie des vagues :

$$F = \rho T g^2 H_s^2 / 64\pi$$

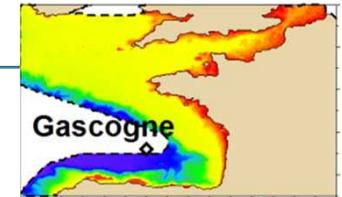


Pente des vagues :

$$\epsilon = 2\pi H_s / gT^2$$

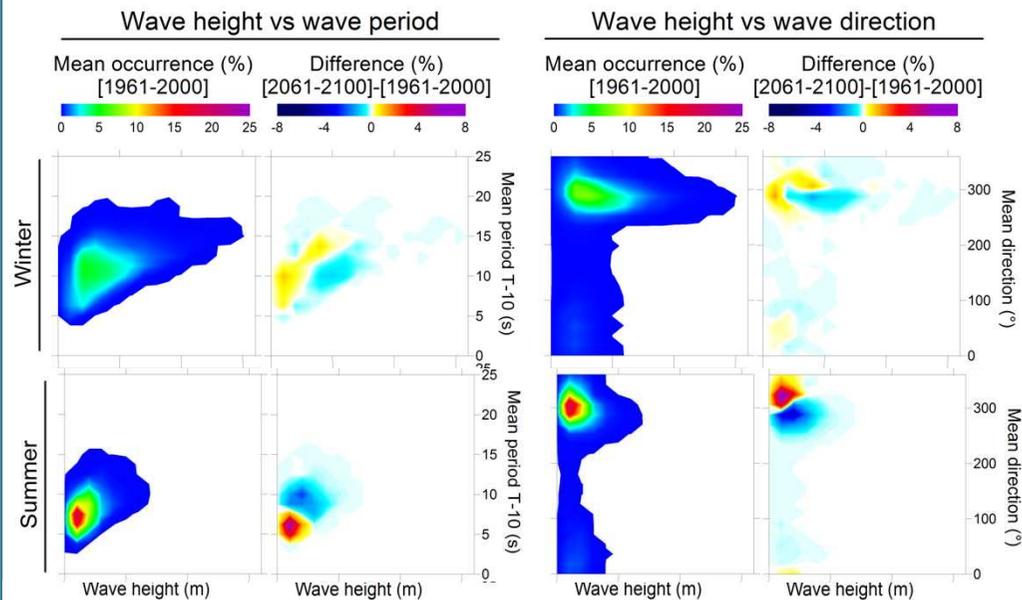


Climat futur/actuel : scénario A2 à l'échelle locale



Diagrammes bivariés saisonniers à la bouée Gascogne :

- 1^{ère} colonne : occurrence des vagues du climat actuel REF [1961-2000]
- 2^{de} colonne : différences d'occurrence entre climat actuel REF [1961-2000] et futur A2 [2061-2100]



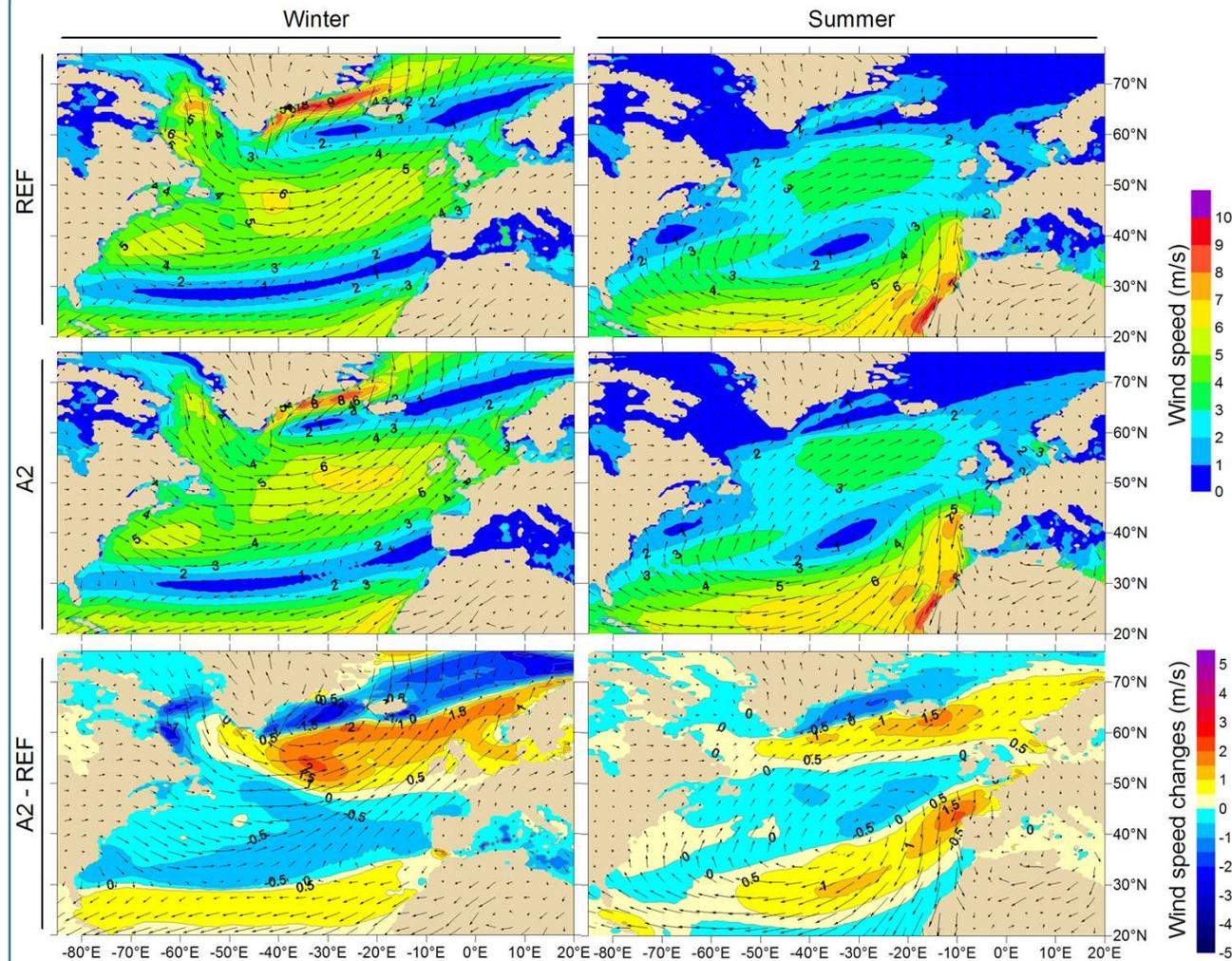
Hiver :

- augmentation des houles
- diminution des vagues intermédiaires
- décalage horaire des houles

Eté :

- augmentation des petites vagues non-énergétiques
- décalage horaire des directions

Climat futur/actuel : interprétation des changements (1/2)



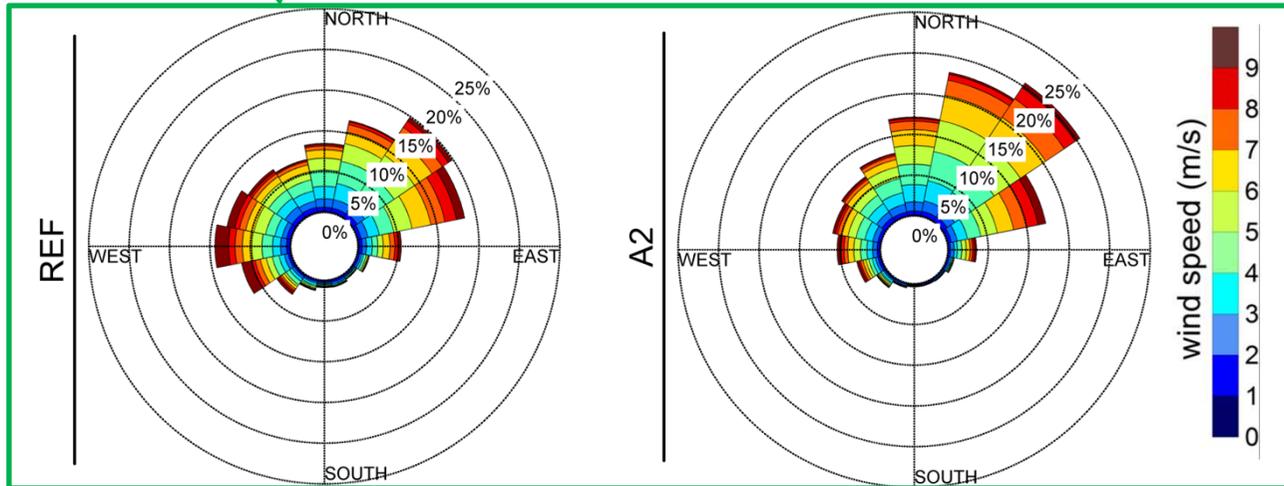
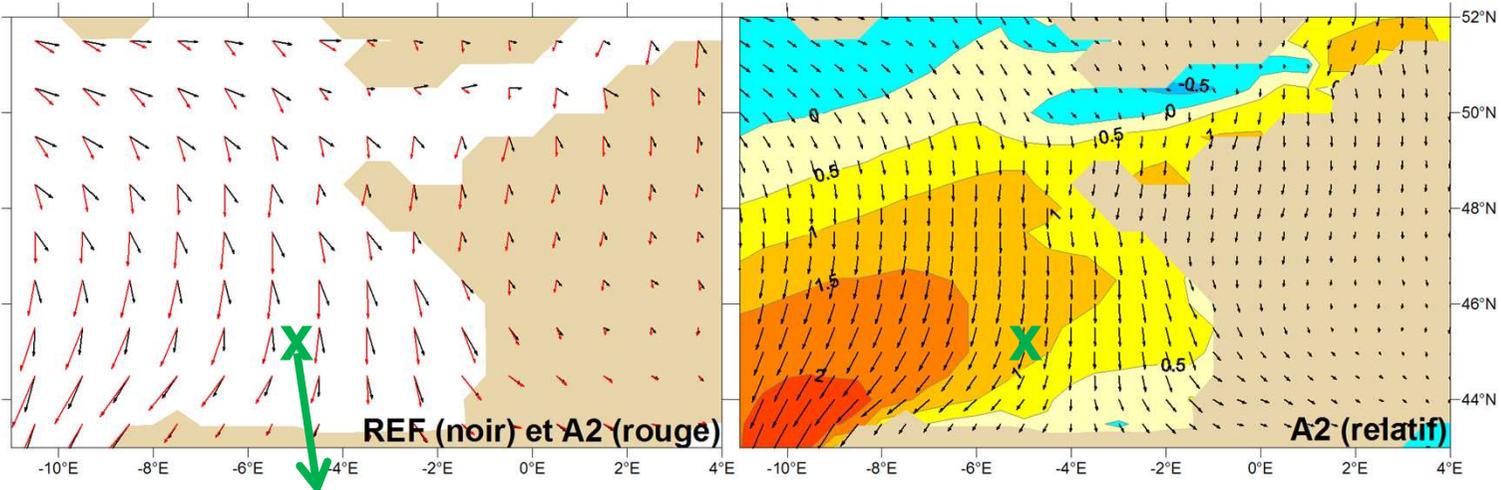
Champs de vent moyens pour les scénarios REF et A2 en hiver et été, et différences entre REF et A2

Hiver:
→ Intensification et décalage du noyau de vents forts vers le Nord-Est

Eté:
→ Décalage du noyau de vents forts vers le Nord-Est
→ Intensification des vents dans le Golfe de Gascogne

Climat futur/actuel : interprétation des changements (2/2)

Zoom sur les changements de vents dans le Golfe de Gascogne en été



- A l'échelle régionale : intensification des vents du Nord dans le Golfe de Gascogne et fort décalage horaire des directions du vent
- A l'échelle locale : réduction des vents forts d'Ouest, renforcement des vents de Nord-Est

Conclusions

- > **Modèle de vagues mis en place dans le Golfe de Gascogne avec une résolution spatiale de 10 km**
 - **BoBWA-10kH** : champs de vagues du climat actuel sur la période 1958-2002
 - **BoBWA-10kF** : Champs de vagues sur 1 scénario de référence 1961-2000 et 3 scénarios futurs 2061-2100
- > **Evaluation de l'impact du changement climatique sur les climats de vague du Golfe de Gascogne**
 - Diminution globale des hauteurs de vague et des périodes
 - Principaux changements en été : décalage horaire des directions de vague

Perspectives

- > Descente d'échelle de 10 km à 1 km pour fournir des conditions limites aux modèles littoraux ($dx \approx 10$ m) hydrodynamiques ou morphodynamiques
 - **BoBWA-1kH & BoBWA-1kF**

**Merci de votre
attention**



WAVEWATCH III, version 3.14-SHOM

- > **Modèle spectral basé sur l'équation de conservation de la densité d'action de la houle**
- > **Processus de propagation des vagues :**
 - Propagation à travers l'espace
 - Réfraction induite par les variations spatiale de la bathymétrie, des courants
 - Mécanisme de levée des vagues (shoaling) lié aux variations spatiales de la bathymétrie et des courants
 - Pas de diffraction
- > **Processus de génération/dissipation :**
 - Génération par le vent
 - Dissipation par moutonnement
 - Dissipation par déferlement bathymétrique
 - Dissipation par frottement
 - Interactions vagues-vagues (quadruplets)
- > **Schéma numérique explicite, différences finies**
- > **Calculateur PHOEBUS (région Centre)**
 - 42 nœuds composés de :
 - 2 processeurs 4 cores Intel Xeon E5450 3.00 GHz
 - 25 Go de mémoire, soit environ 3,2 Go/core
- > **Simulation 1958-2002 :**
 - 143 heures sur 192 cœurs pour 44 années
 - Soit 624 heures CPU pour une simulation d'un an
 - 300 Go de données stockées

Paramètres statistiques

$x(t_i)$ valeur mesurée à t_i

$\theta(t_i)$ valeur simulée à t_i

$$\text{Biais} = \frac{1}{n} \sum_{i=1,n} \theta(t_i) - \frac{1}{n} \sum_{i=1,n} x(t_i)$$

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1,n} (\theta(t_i) - x(t_i))^2}$$

$$\text{SI}_{ECMWF} = \sigma_{err} / \bar{x} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1,n} [(\theta(t_i) - \bar{\theta}) - (x(t_i) - \bar{x})]^2} / \bar{x}$$

$$\text{SI}_{NOAA} = \text{RMSE} / \bar{x} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1,n} (\theta(t_i) - x(t_i))^2} / \bar{x}$$

Calibration (1/4) : paramètre ZWND

> Paramètre ZWND : hauteur du vent donné en entrée

- Les vagues sont générées et dissipées par la vitesse de frottement U^*
- U^* dépend de la vitesse du vent donnée à une hauteur « ZWND » et de la rugosité de la surface de l'eau due aux vagues

$$U^* = \frac{\kappa U_{ZWND}}{\ln\left(\frac{ZWND}{z_0}\right)}$$

