

PORT DE CHERBOURG



**PROJET DE TRANSBORDEMENT DE CHARBON**  
**ETUDES COMPLEMENTAIRES DU MOUILLAGE DU**  
**CAPESIZE**

**DETERMINATION DES CONDITIONS LIMITES DU**  
**NOUVEAU SYSTEME ENVISAGE**

---



**RAPPORT**

25 JUIN 2010

N° 1 711907 – R3 – v0



## TABLE DES MATIERES

<b>1.</b>	<b>CONTEXTE .....</b>	<b>3</b>
<b>2.</b>	<b>CONFIGURATION D'AMARRAGE ETUDIEE.....</b>	<b>5</b>
<b>3.</b>	<b>CONDITIONS OCEANO-METEOROLOGIQUES.....</b>	<b>8</b>
3.1.	HOULE DANS LA ZONE DE MOUILLAGE .....	8
3.2.	VENT DANS LA ZONE DE MOUILLAGE.....	10
3.3.	COURANT DANS LA ZONE DE MOUILLAGE.....	11
3.4.	NIVEAUX DE LA MER .....	14
3.5.	CONDITIONS OCEANO-METEOROLOGIQUES RETENUES POUR LES SIMULATIONS ORCAFLEX.....	14
<b>4.</b>	<b>ETUDE DE LA NOUVELLE CONFIGURATION DE MOUILLAGE DU CAPESIZE .....</b>	<b>16</b>
4.1.	METHODOLOGIE .....	16
4.2.	DESCRIPTION DU MODELE .....	16
4.3.	HISTORIQUE DES SIMULATIONS EFFECTUEES EN PHASE 3 .....	17
4.3.1.	PREMIERE SERIE DE TESTS .....	17
4.3.2.	DEUXIEME SERIE DE TESTS .....	18
4.3.3.	TROISIEME SERIE DE TESTS .....	18
4.3.4.	QUATRIEME SERIE DE TESTS.....	18
4.3.5.	CINQUIEME ET DERNIERE SERIE DE TESTS .....	19
4.4.	RESULTATS ET ANALYSE DE LA DERNIERE SERIE DE SIMULATIONS.....	19
4.4.1.	RESULTATS .....	19
4.4.2.	ANALYSE.....	20
4.5.	SEUILS OPERATIONNELS DE TENUE A POSTE.....	23
<b>5.</b>	<b>CONCLUSION.....</b>	<b>24</b>
<b>6.</b>	<b>TABLE DES ANNEXES.....</b>	<b>25</b>
	<b>ANNEXE 1 .....</b>	<b>26</b>
	<b>ANNEXE 2 .....</b>	<b>27</b>
	<b>ANNEXE 3 .....</b>	<b>28</b>

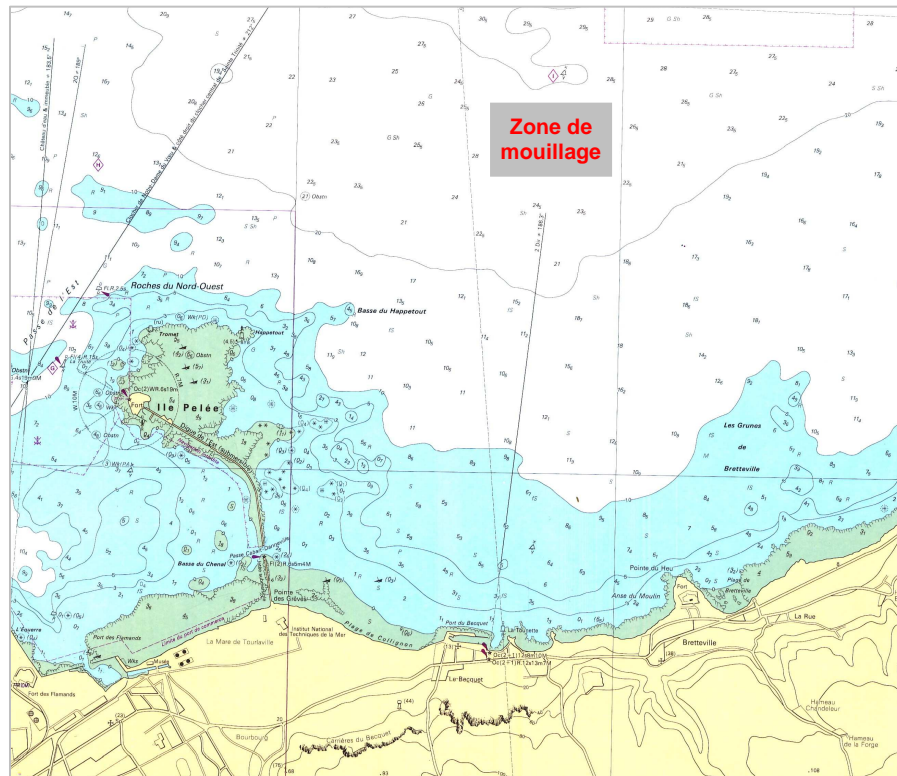
oOo

## 1. CONTEXTE

Port de Cherbourg S.A., une société formée par la Chambre de Commerce et Louis Dreyfus Armateurs (appelée PdC dans ce document) a obtenu par le gestionnaire du port, Port Normands Associés (PNA), la concession du port pour les prochaines années.

Parmi ses initiatives, PdC prévoit de démarrer un trafic de transbordement de charbon, avec des grands navires de type *Capesize* (environ 170,000 tpl) qui seront ancrés à l'extérieur du port (voir la figure n°1) et déchargés sur des barges par une grue sur ponton flottant.

**Figure 1 : Le site de transbordement**



Les barges sont ensuite déchargées au quai des Flamands (à l'intérieur du port), où il est prévu de charger des feeders pour l'acheminement du charbon vers des ports avoisinants, essentiellement au Royaume-Uni.

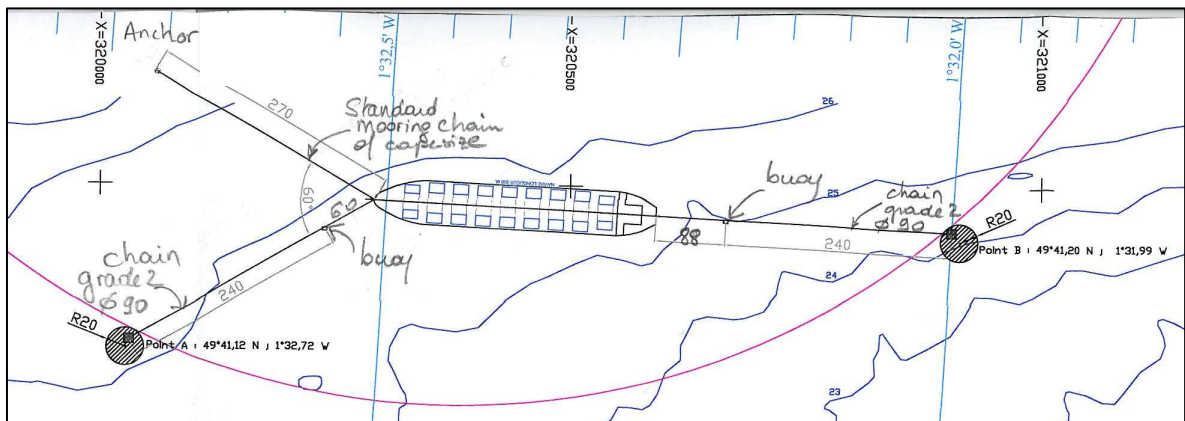
Dans cette troisième phase de l'étude, PdC a modifié la configuration et le lieu de mouillage par rapport à la configuration retenue en Phase 2. Les coordonnées des deux coffres ont été modifiées comme suit :

- coffre avant : 49°41,12 N, 1°32,72 W
- coffre arrière : 49°41,20 N, 1°31,99W

De ce fait le navire sera maintenu embossé cap au N270 dans une profondeur d'eau proche de 26 m CD.

Le principe de mouillage défini par le Port de Cherbourg prévoit non plus des corps morts ancrés comme envisagé initialement, mais des « châssis araignées », sortes de treillis métalliques pesants, fixés au sol par des bûches et reliés par 240 m de chaîne à chaque coffre avant et arrière, coffres permettant l'amarrage des lignes du navire et éventuellement des lignes de poste.

**Figure 2 : Nouveau concept de mouillage défini par le Port de Cherbourg**



Le PdC souhaite maintenant :

- 1) Connaître le comportement du nouveau dispositif de mouillage pour les conditions d'environnement les plus critiques identifiées lors de la phase 2 de l'étude, de manière à dimensionner au plus juste les systèmes (châssis araignées + chaînes + coffres) ;
- 2) Connaître les limites opérationnelles du dispositif, c'est-à-dire évaluer les efforts dans les amarres et les chaînes en fonction du tirant d'eau du navire, des courants (coefficients de marée), du vent et de la houle.

Le PdC a donc demandé à SOGREAH, lors de la réunion du 25 mars 2010 chez LDA, une étude complémentaire dont les résultats sont contenus dans le présent document.

Comme pour les phases précédentes, SOGREAH a travaillé en collaboration avec LOGMARIN, société basée à Gênes en Italie.

oOo

---

## 2. CONFIGURATION D'AMARRAGE ETUDIEE

---

La nouvelle configuration d'amarrage a été définie par le Port de Cherbourg, sur la base des études précédentes et en collaboration avec les pilotes.

Le navire a les mêmes caractéristiques que pour les phases précédentes de l'étude, à savoir :

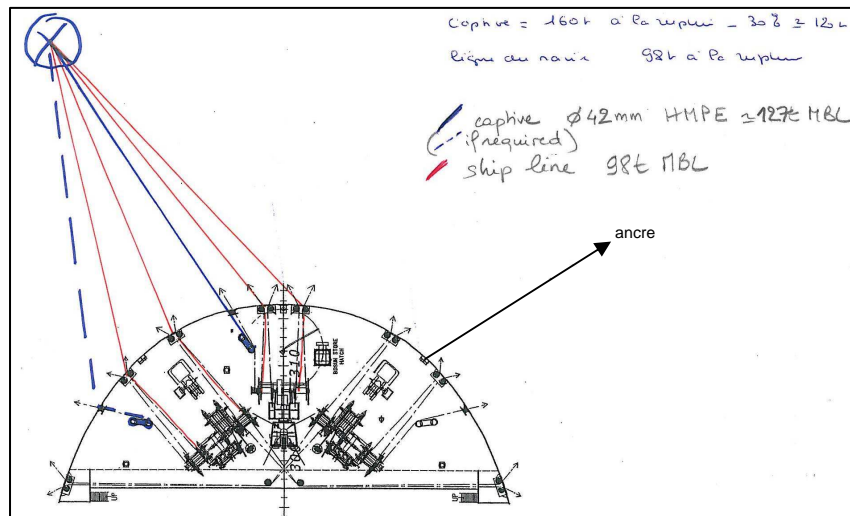
- Vraquier de type Capesize
- Capacité tpl ~ 170.000 tonnes
- Tirant d'eau en pleine charge = 18.5 m,
- Tirant d'eau à mi-charge = 14 m
- $L_{OA}$  = 286 m
- B = 46 m

L'équipement d'amarrage du Capesize prévu par le Port de Cherbourg dans la nouvelle configuration est le suivant :

- **à l'avant :**

- 4 amarres du navire entre le coffre et des treuils, en nylon, de diamètre 70 mm et de charge maximale à la rupture d'environ 98 t, (Pré-tension de 1 kN par ligne).
- 1 boucle formée par une amarre de poste en HMPE (= « captive line », de charge à la rupture environ 127 t pour un diamètre de 42 mm) qui est reprise sur deux bollards du navire de capacité unitaire de 160 tonnes. (Pré-tension de 1 kN).
- 1 ancre du navire portant vers le Nord-Ouest (angle entre la chaîne et l'axe du navire = 35°), au bout d'une chaîne d'ancrage longue de 300 m. Cette longueur de chaîne a été évaluée au cours de l'étude comme étant celle qui permettait (d'après les résultats du modèle) de respecter les critères de stabilité qui sont
  - 1- pas de soulèvement de l'ancre (angle de l'ancre avec le sol = 0°);
  - 2- pas de mouvement horizontal de l'ancre sur le fond;
  - 3- une tension dans la chaîne, toujours évaluée au chaumard (car c'est toujours à cet endroit que la tension est la plus importante), compatible avec la tension admissible (50 à 60% de la MBL).

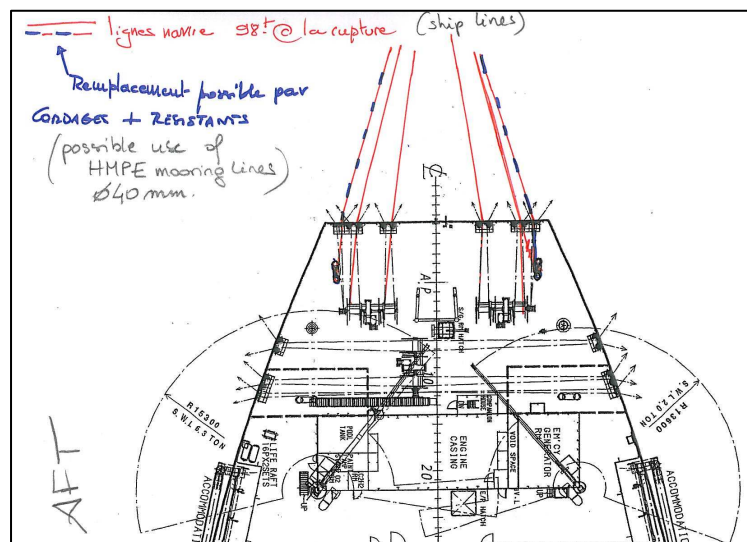
Figure 3 : Configuration d'amarrage avant



• à l'arrière :

- de 4 à 6 amarres du navire sur treuils et bollards, en nylon, de Ø 70 mm et de charge maximale à la rupture d'environ 98 t,
- éventuellement, si besoin, deux amarres de poste toujours en HMPE (charge à la rupture d'environ 116 t pour un Ø de 40 mm – possibilité jamais mise en œuvre dans l'étude).

Figure 4 : Configuration d'amarrage arrière



Il a été considéré dans les simulations que les coffres avaient les caractéristiques suivantes :

- diamètre = 5,50 m
- hauteur = 3,60 m
- distance navire – coffre d'amarrage avant = 60 m
- distance navire – coffre d'amarrage arrière = 88 m.

Ces coffres sont reliés à des châssis « araignées » par l'intermédiaire de chaînes dont les caractéristiques sont les suivantes :

- diamètre = 90 mm,
- longueur des chaînes = 240 m.
- tension maximale à la rupture : *grade 2* : 4060 kN (~ 414 tonnes).

oOo

### 3. CONDITIONS OCEANO-METEOROLOGIQUES

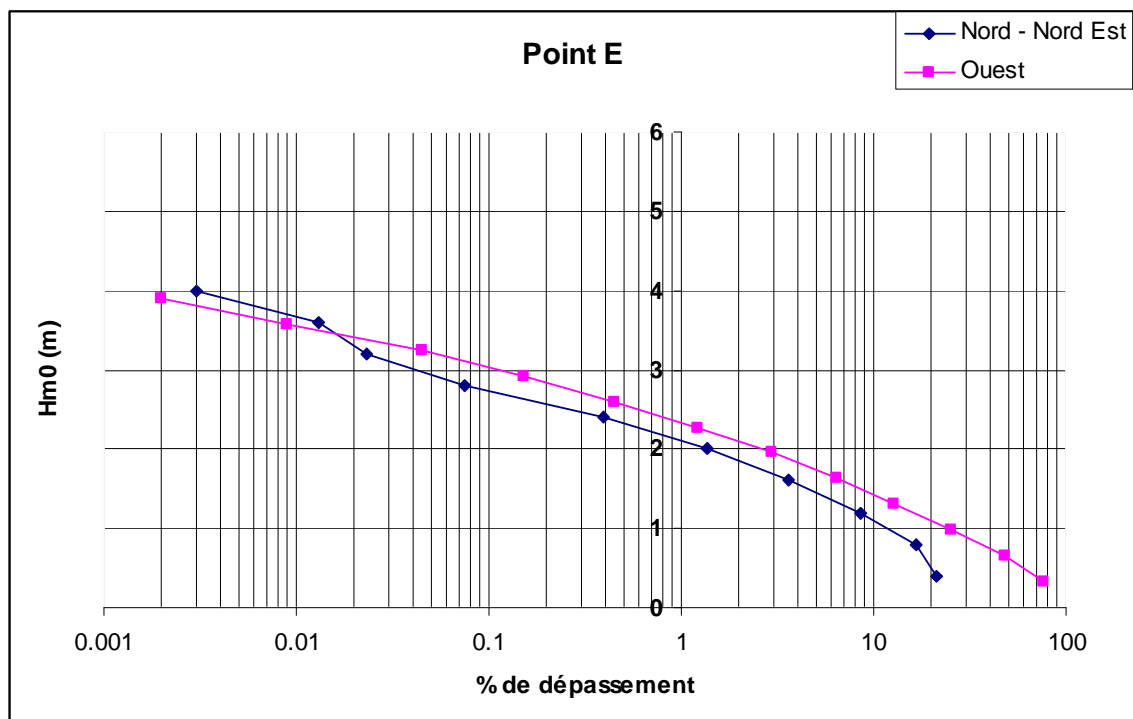
Les conditions de houle, vent et courant, étudiées lors de la phase précédente de l'étude ont été reprises sommairement ici.

#### 3.1. HOULE DANS LA ZONE DE MOUILLAGE

A partir des données au large issues de la base ANEMOC du CETMEF, les houles dans la zone de mouillage du Capsize ont été évaluées. La propagation avec le modèle mathématique SWAN des conditions annuelles d'Ouest et de Nord-Est a permis d'estimer les coefficients de transfert, pour chacune des directions principales, jusqu'au centre de la zone de mouillage.

Ces coefficients de transfert ont permis de déterminer, pour chacune des directions principales, les hauteurs de houle dans la zone de mouillage (point E) pour les pourcentages de dépassement 0.10%, 1% et 5% .

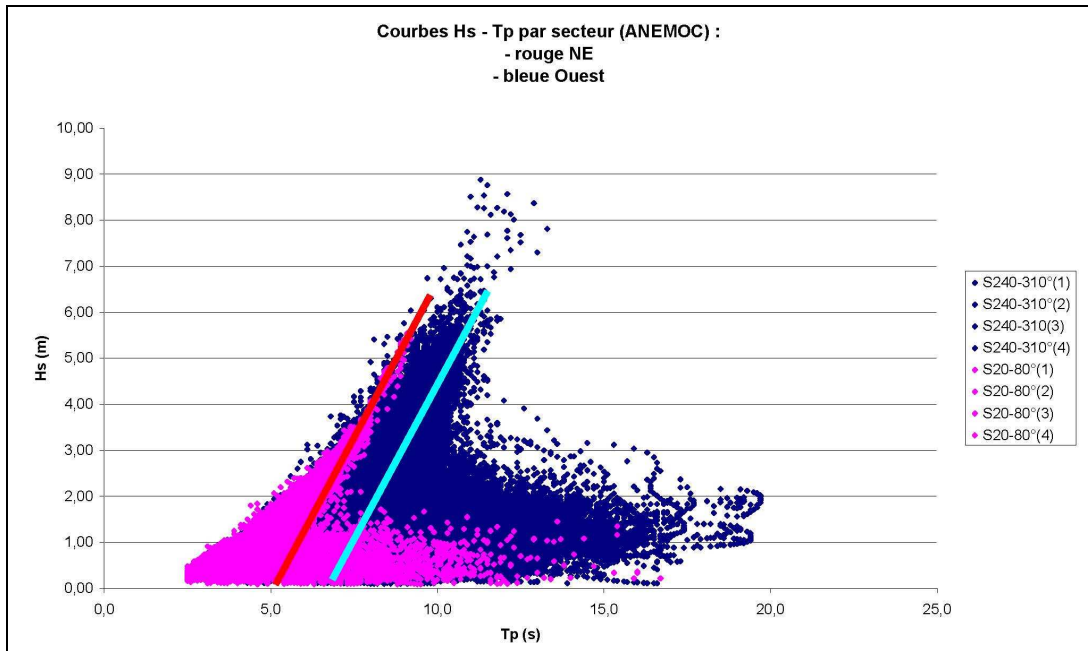
Figure 5 : Statistique de la houle dans la zone de mouillage



Les périodes associées aux hauteurs de houles au point E ont été déterminées d'après les courbes Hs/Tp réalisées pour chacune des directions étudiées avec les données ANEMOC au large, en considérant que la période n'évoluait pas entre le large (point 1154 de la base ANEMOC) et le point E.



Figure 6 : Correspondance Hs-Tp



Les hauteurs de houles de projet et leurs périodes associées, sont présentées dans le tableau suivant.

Tab 1 : Houles de projet au point de mouillage

	Secteur Nord-est (15°-120° au large)		Secteur Ouest (240°-360° au large)	
	Direction appliquée : 40°N		Direction appliquée : 310°N	
% dépassement	Hm0 (s)	Tp (s)	Hm0 (m)	Tp (s)
0.1%	2.75	6	3.10	11
1%	2.20	5.5	2.40	10
5%	1.50	5	1.80	9
10%			1.50	9

Les directions appliquées sont celles qui sont dominantes dans la zone de mouillage.

Par ailleurs, de nouvelles simulations avec le modèle SWAN ont permis de définir, les coefficients de transformation de la hauteur et de la direction de la houle entre la bouée CANDHIS 05008 et la zone de mouillage pour :

- Deux directions : N310 et N40,
- Trois périodes typiques pour chaque direction.

Les valeurs obtenues sont présentées en Annexe 1.

### 3.2. VENT DANS LA ZONE DE MOUILLAGE

La base de données de vents, qui a été construite sur 16 années à partir de modèles météorologiques généraux, a permis de déterminer, pour le site étudié, les valeurs extrêmes et les statistiques climatologiques sur une base annuelle.

**Tab 2 : Conditions de vent extrêmes sur le site**

Secteur Nord-Ouest

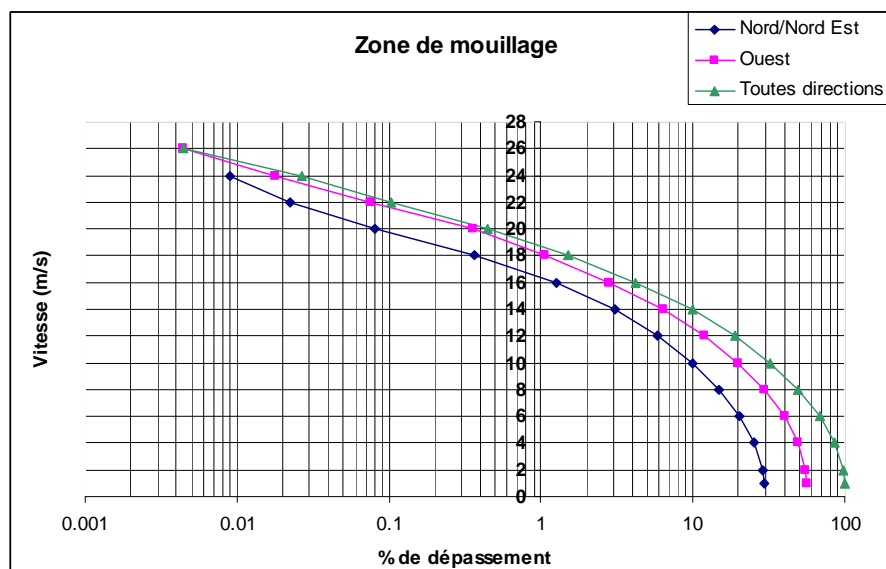
Période de retour (ans)	V <sub>10m</sub> - Mode (m/s)	V <sub>10m</sub> – intervalle de confiance à 90% (m/s)	D <sub>V10m</sub> (deg / N)
1	21,1	20,7 - 21,5	290 - 350
10	25,0	23,8 - 27,6	
50	27,2	25,5 - 31,9	
100	28,0	26,0 - 33,3	

Secteur Nord-Est

Période de retour (ans)	V <sub>10m</sub> - Mode (m/s)	V <sub>10m</sub> – intervalle de confiance à 90% (m/s)	D <sub>V10m</sub> (deg / N)
1	19,3	18,9 - 19,7	020 - 070
10	22,5	21,5 - 24,9	
50	24,7	23,0 - 28,3	
100	25,6	23,6 - 29,7	

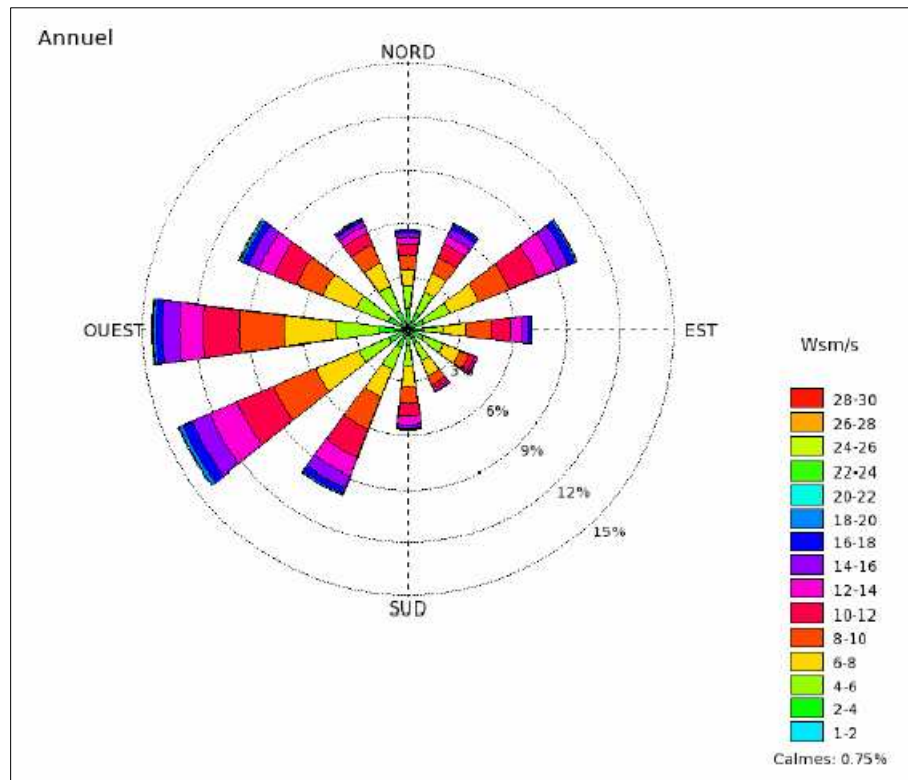
La courbe de pourcentage de dépassement présentée ci-dessous a été réalisée à partir de ces statistiques.

**Figure 7 : Pourcentage de dépassement du vent**



La rose des vents ci-dessous, a permis d'identifier les directions principales du vent.

**Figure 8 : Rose des vents**



Les vents de projet, par secteur, sont présentés dans le tableau suivant.

**Tab 3 : Vents de projet au point E**

	Secteur Nord-est (0°-90°)	Secteur Ouest (210°-330°)
	Direction appliquée = 40°	Direction appliquée = 27 0°
% dépassement	m/s	m/s
0.1%	20	22
1%	16	18
5%	12	14
10%		12

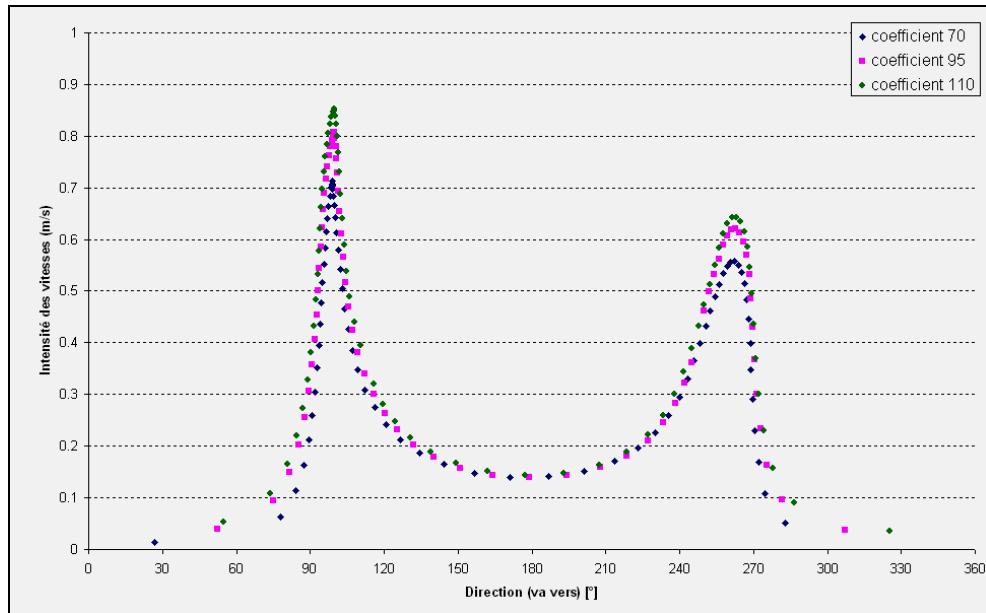
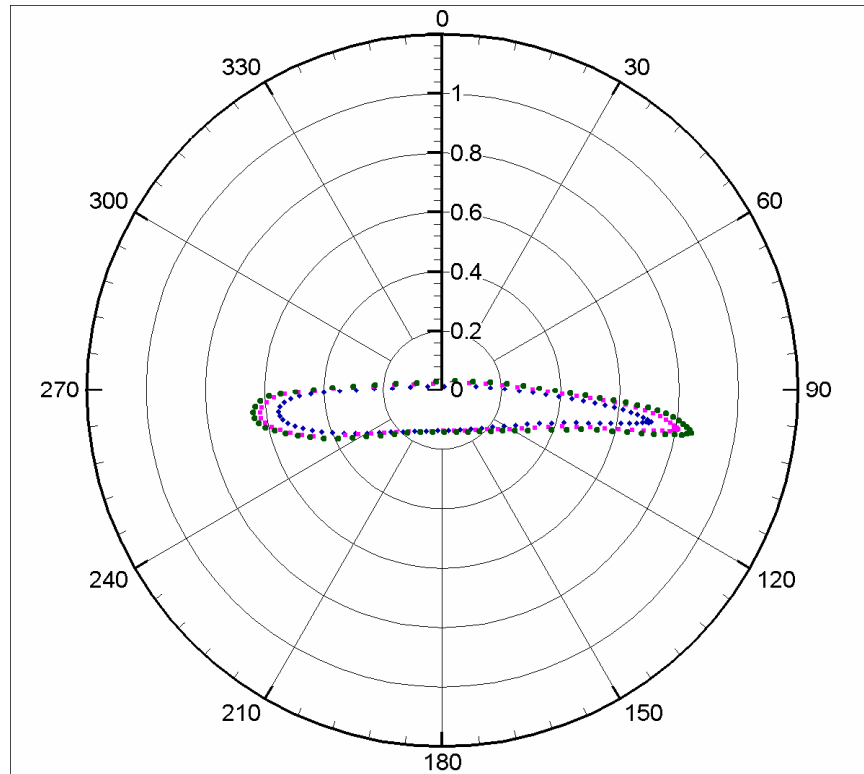
### 3.3. COURANT DANS LA ZONE DE MOUILLAGE

Les intensités des courants de marée au point de mouillage ont été déterminées à l'aide du modèle courantologique de la Manche (basé sur le code TELEMAC 3D).

Ce modèle permet de connaître le profil de vitesse sur toute la hauteur d'eau.

Pour prendre en compte les courants agissant sur la coque du navire, c'est la vitesse moyennée sur les 15 premiers mètres qui a été retenue (voir le graphique à la figure suivante, concernant les calculs pour les coefficients 70, 95 et 110).

Figure 9 : Courants calculés au point de mouillage



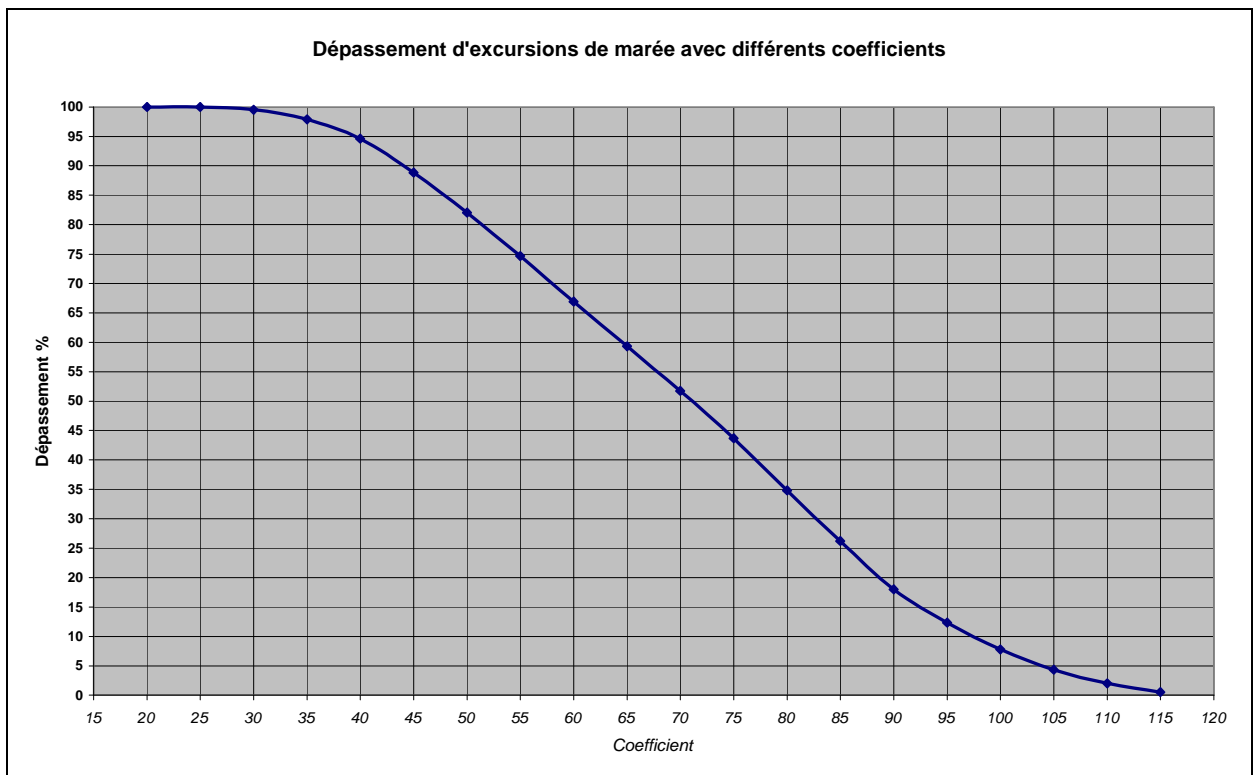
Les valeurs de vitesse et direction calculées en flot et jusant (valeurs moyennées sur les 15 m à partir de la surface), avec le pourcentage de dépassement concerné (source : C.O.E.C, 1953) sont présentées dans le tableau suivant.

**Tab 4 : Courants de projet au point M**

Coefficient	% de dépassement	Flot		Jusant	
		Vitesse (m/s)	Direction (vers N)	Vitesse (m/s)	Direction (vers N)
70	51,76	0,71	99	0,56	262
95	12,34	0,81	100	0,62	263
110	2,04	0,86	100	0,66	263

La courbe des pourcentages de dépassement pour tous les coefficients de marée est donnée dans la figure suivante.

**Figure 10 : Pourcentage de dépassement des coefficients de marée**



L'étude courantologique a également permis de définir les profils du courant pour le flot et le jusant, à un niveau d'eau moyen et pour deux coefficients de marée de 70 et 95 sur toute la hauteur d'eau dans la zone de mouillage. Les résultats figurent en Annexe 2.

### 3.4. NIVEAUX DE LA MER

Les niveaux d'eau atteints dans le port de Cherbourg en fonction des variations de marée sont les suivants :

- Haute Marée Vives Eaux Exceptionnelles = + 7,02 m ZH (coefficient 120)
- Haute Marée Vives Eaux Opérationnelles = + 6,34 m ZH (coefficient 95)
- Niveau Moyen = + 3,81 m ZH
- Basse Marée Vives Eaux Opérationnelles = + 1,20 m ZH (coefficient 95)
- Basse Marée Vives Eaux Exceptionnelles = + 0,40 m ZH (coefficient 120)

où ZH (Zéro Hydrographique) correspond au niveau de référence des cartes marines.

Les niveaux de projet pour les simulations ont été définis comme des niveaux moyens entre ceux correspondant aux vitesses maximales de flot et jusant pour les coefficients de marée de 70 et 95.

- Courant de flot, Niveau de projet = + 5,20 m ZH (moyenne entre le niveau pour une marée de 95 = + 5,34 m ZH, et le niveau correspondant pour une marée de 70 = + 5,10 m ZH ;
- Courant de jusant, Niveau de projet = + 3,30 m ZH (moyenne entre le niveau pour une marée de 95 = + 3,40 m ZH, et le niveau pour une marée de 70 = + 3,25 m ZH).

### 3.5. CONDITIONS OCEANO-METEOROLOGIQUES RETENUES POUR LES SIMULATIONS ORCAFLEX

Les conditions de houle, vent et courant, étudiées lors de la phase précédente de l'étude et identifiées comme étant les plus caractéristiques ont été reprises, en intégrant les contraintes fixées par le PdC, à savoir :

- Hs limitée à 1.80 m pour permettre l'intervention des remorqueurs ;
- Vitesse du vent limitée à 14 m/s pour respecter les conditions opérationnelles des équipements ;
- Coefficients de marée de 95 puis 110.

La prise en compte de ces contraintes a abouti à la définition d'une matrice de cas à tester. Cette matrice a évolué au fil de l'étude, en fonction des résultats obtenus. Elle est présentée dans sa dernière version ci-dessous.

Tab 5 : Matrice des simulations réalisées avec ORCAFLEX

Run N°	Case	Load	Wave			Wind		Current		
			Hs (m)	Tp (s)	Dir (°N)	Speed (m/s)	Dir (°N)	Speed (m/s)	Dir (°N)	
1	1	FL	1.80	9	310	14	270	0.81	100	Coeff 95
2	2	FL	1.80	9	310	14	270	0.62	263	
20	2.1	FL	1.50	9	310	14	270	0.62	263	
3	6	FL	1.50	5	40	14	60	0.81	100	
4	7	FL	1.50	5	40	14	60	0.62	263	
21	7.1	FL	1.30	5	40	14	60	0.62	263	
5	25	MC	1.80	9	310	14	270	0.81	100	
6	31	MC	1.50	9	40	14	60	0.81	100	
22	31.1	MC	1.50	5	40	14	60	0.62	263	
23	31.2	MC	1.40	5	40	14	60	0.62	263	
24	1.1	FL	1.50	9	310	14	270	0.86	100	
25	1.2	FL	1.20	9	310	14	270	0.86	100	
26	2.2	FL	1.30	9	310	14	270	0.66	263	
27	2.3	FL	1.00	9	310	14	270	0.66	263	
28	6.1	FL	1.30	5	40	14	60	0.86	100	
29	6.2	FL	1.00	5	40	14	60	0.86	100	
30	7.2	FL	1.20	5	40	14	60	0.66	263	
31	7.3	FL	1.00	5	40	14	60	0.66	263	
32	25.1	MC	1.80	9	310	14	270	0.86	100	
33	25.2	MC	1.50	9	310	14	270	0.86	100	
34	31.3	MC	1.20	5	40	14	60	0.66	263	
35	31.4	MC	1.00	5	40	14	60	0.66	263	
36	1.3	FL	1.50	9	310	14	270	0.81	100	95
37	1.4	FL	1.80	9	310	14	270	0.86	100	110
38	2.4	FL	1.80	9	310	14	270	0.66	263	110
39	2.5	FL	1.50	9	310	14	270	0.66	263	110

oOo

---

## 4. ETUDE DE LA NOUVELLE CONFIGURATION DE MOUILLAGE DU CAPESIZE

---

### 4.1. METHODOLOGIE

L'étude a une nouvelle fois été réalisée avec le logiciel ORCAFLEX, en collaboration avec la société spécialisée LOGMARIN (Gênes, Italie).

Malgré les modifications du dispositif d'amarrage et le déplacement du site de mouillage du navire, LOGMARIN a utilisé, dans cette troisième phase, le modèle hydrodynamique du navire réalisé lors de la phase précédente, compte tenu des délais très courts imposés par le PdC, mais a ajusté les coefficients pour tenir compte du changement de profondeur d'eau sur le site et de l'ancrage du navire à l'avant dans la nouvelle configuration testée.

A partir d'une modélisation du système Capesize-ancres-coffres-chaînes, plusieurs séries de 39 simulations ont été réalisées pour deux coefficients de marée, les deux conditions de charge du navire et différentes combinaisons de conditions de houle et de vent (la vitesse du vent étant toujours égale à 14 m/s).

### 4.2. DESCRIPTION DU MODELE

La modélisation a repris exactement la configuration d'amarrage décrite au Chapitre 2, avec 4 amarres du navire et 2 amarres de poste en HMPE à l'avant et 6 amarres du navire à l'arrière. Les amarres ont été modélisées par paire, sous forme de boucle. Aussi les 2 amarres de postes, appelées « lignes captives », sont désormais nommées « boucle captive ». Il faut noter que le fait que les lignes captives soient modélisées sous forme de boucle a pour effet de répartir les efforts également sur les 2 brins de la boucle. Si l'on considérait deux lignes captives au lieu d'une boucle, l'effort dans la ligne la plus tendue serait certainement un peu plus important que celui qui a été calculé par LOGMARIN avec ORCAFLEX.

Les figures suivantes montrent la modélisation du système complet sous ORCAFLEX.



Figure 11 : Vue 3D du modèle ORCAFLEX

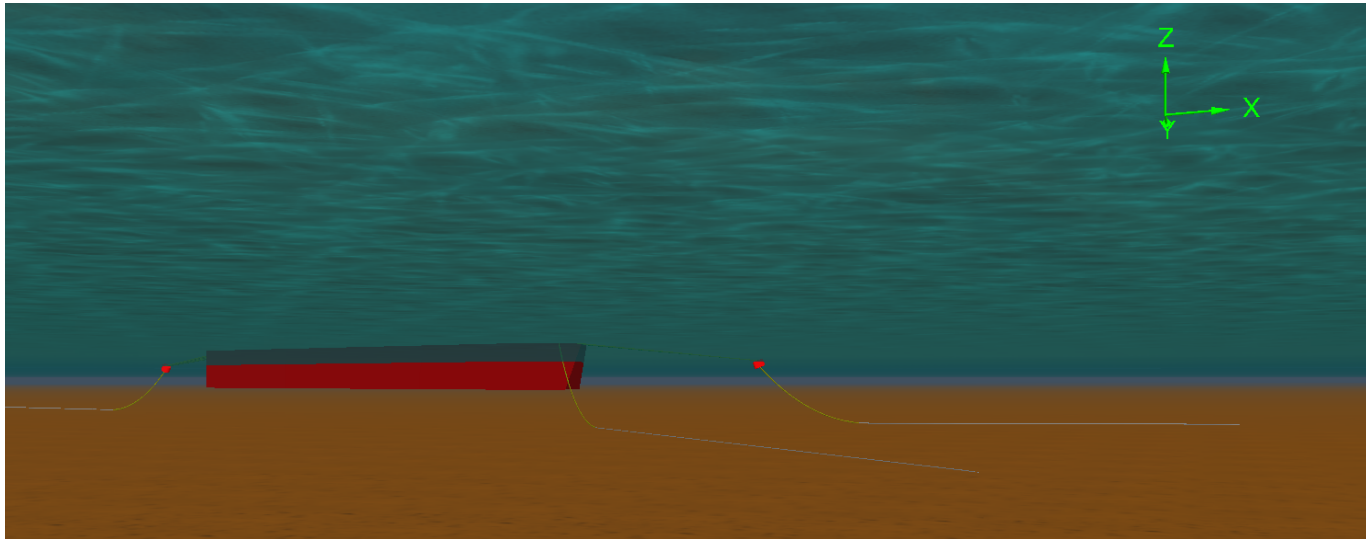
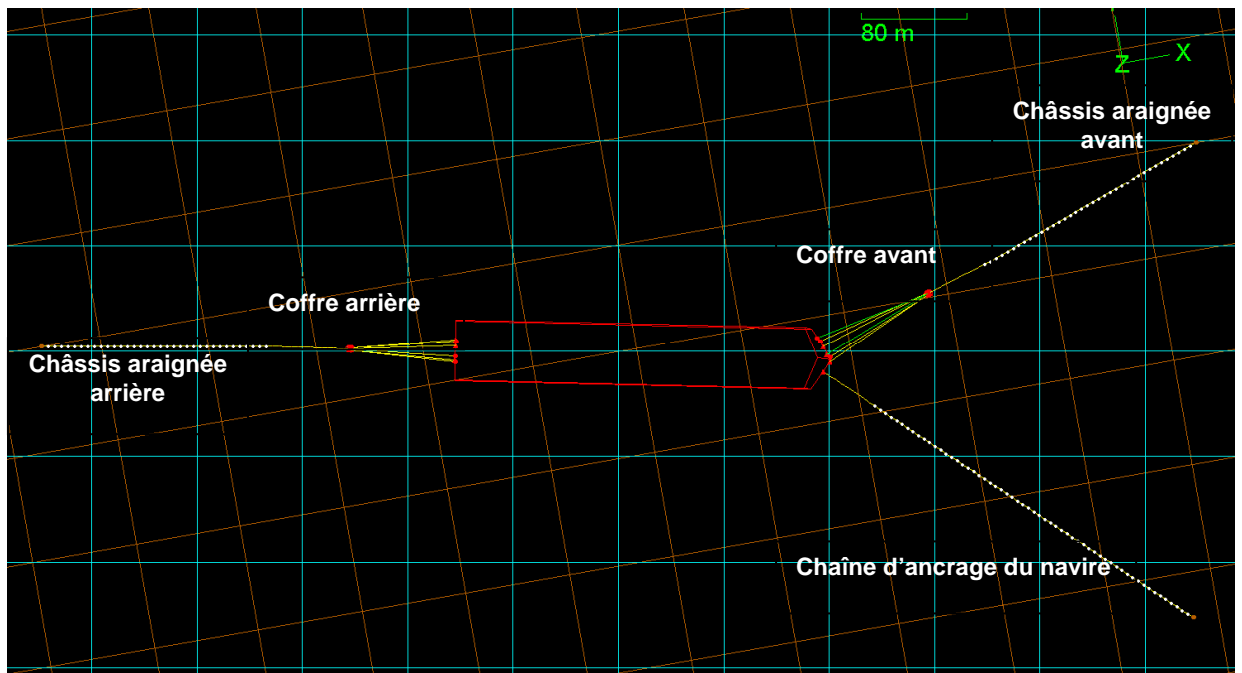


Figure 12 : Détail de la modélisation du système sous ORCAFLEX



### 4.3. HISTORIQUE DES SIMULATIONS EFFECTUEES EN PHASE 3

Compte tenu du grand nombre de simulations ORCAFLEX qui ont été effectuées, nous avons jugé utile de récapituler toutes les configurations testées. Néanmoins, seuls les résultats de la configuration retenue sont présentés dans ce rapport, de manière à ne pas créer de confusion.

#### 4.3.1. PREMIERE SERIE DE TESTS

Dans un premier temps, les simulations ont été effectuées avec 1 kN de pré-tension sur les lignes d'amarrage avant et 20 kN de pré-tension sur les lignes d'amarrage arrière. La longueur

de la chaîne reliant le navire à son ancre a été prise égale à 350 m, ceci étant possible au niveau de l'équipement du navire mais difficile à mettre en œuvre et donc peu usuel (configuration avec  $L < 250$  m plus usuelle).

Les premiers résultats ont montré que les tensions maximales à la rupture n'étaient jamais atteintes, que ce soit pour les lignes d'amarrage ou pour les chaînes. L'orientation du navire à N270, la légère augmentation de la profondeur, l'ajout de la chaîne d'ancrage du navire au Nord-Ouest ainsi que la présence de deux lignes en nylon supplémentaires à l'arrière ont donc apporté une nette amélioration à la tenue générale du système par rapport à la configuration étudiée en Phase 2.

#### **4.3.2. DEUXIEME SERIE DE TESTS**

Dans le but de réduire d'avantage les tensions dans les lignes, nous avons tenté de trouver un compromis entre la tension dans la boucle captive et la longueur de la chaîne d'ancrage du navire. Il en a découlé une seconde série d'essais, avec les mêmes conditions environnementales et les mêmes pré-tensions dans les amarres mais une longueur de chaîne d'ancrage réduite à 200 m (ce qui est plus usuel pour un navire de type Capesize).

L'analyse des résultats de ces simulations a montré que la tension dans la boucle en HMPE a été réduite de manière significative, mais au détriment de la tension dans la chaîne d'ancrage du navire, générant même le soulèvement de l'ancre du navire, ce qui est inacceptable.

#### **4.3.3. TROISIEME SERIE DE TESTS**

Au vu des résultats de la deuxième série de simulations, une étude de sensibilité a été menée sur la pré-tension des amarres et en particulier des amarres arrière, sans changer aucun autre paramètre par rapport à la série de tests précédente. La pré-tension des amarres avant est passée de 1 kN à 10 kN et celle des amarres arrière, de 20 kN à 50 kN.

Cette configuration n'a pas été concluante, en particulier en ce qui concerne les amarres arrière, car même si elle abaisse la tension dans la boucle en HMPE dans la plupart des cas, elle l'augmente fortement pour les conditions de Nord-Est. Le soulèvement de l'ancre est toujours observé. Cette configuration n'a donc pas été jugée satisfaisante.

#### **4.3.4. QUATRIEME SERIE DE TESTS**

Dans le but de réduire encore la tension dans la boucle captive, et partant du fait qu'on ne pouvait pas suffisamment jouer sur la pré-tension des amarres, il a été décidé de rallonger la longueur de chaîne d'ancrage pour atteindre 250 m. Ceci avait pour objectif de voir si on évitait ainsi le soulèvement de l'ancre du navire observé lors des simulations avec 200 m de chaîne d'ancrage.

Cette quatrième série de simulations a été menée sur le cas le plus critique en ce qui concerne le soulèvement de l'ancre, à savoir le cas d'un navire à mi-charge soumis à des conditions de Nord-Ouest.

Les résultats ont montré que si toutes les tensions dans les amarres et les chaînes sont toujours inférieures à la limite de service avec une longueur de chaîne supérieure ou égale à 250 m, un soulèvement de l'ancre du navire est toutefois encore observé pour une chaîne de 250 m de long. Le phénomène est moins marqué que pour une longueur de chaîne de 200 m mais existe tout de même.

### 4.3.5. CINQUIEME ET DERNIERE SERIE DE TESTS

Au vu des résultats des précédentes séries de simulations, il a été décidé de rallonger encore la longueur de chaîne d’ancrage pour arriver à 300 m de chaîne. Les simulations ont été effectuées avec 1 kN de pré-tension sur les lignes d’amarrage avant et 20 kN de pré-tension sur les lignes d’amarrage arrière. Deux coefficients de marée ont été testés : 95 et 110.

Avec cette longueur de chaîne, les tensions dans les lignes restent acceptables, et on n’observe pas de soulèvement de l’ancre.

Cette configuration avec 300 m de chaîne d’ancrage du navire et des pré-tensions de 1 kN dans les lignes avant et 20 kN dans les lignes arrière a donc été retenue pour la suite des simulations.

## 4.4. RESULTATS ET ANALYSE DE LA DERNIERE SERIE DE SIMULATIONS

### 4.4.1. RESULTATS

Les résultats de la cinquième série de simulations ORCAFLEX figurent en Annexe 3 et sont également présentés ci-dessous.

**Tab 6 : Résultats de la 5<sup>ème</sup> série de simulations ORCAFLEX**

Case	Captive cable (kN)	Bow line1 (kN)	Bow line2 (kN)	Stern line1 (kN)	Stern line2 (kN)	Stern line3 (kN)	Bow chain at buoy (kN)	Bow chain at anchor (kN)	Bow anchor uplift (deg)	Stern chain at buoy (kN)	Stern chain at anchor (kN)	Stern anchor uplift (deg)	Ship chain at fairlead (kN)	Ship chain at anchor (kN)	Ship anchor uplift (deg)	Ship RZ Mean (deg)	Ship RZ Max (deg)	Ship RZ Min (deg)
1	32.35	3.61	30.30	120.95	96.58	75.21	197.67	127.75	0	657.10	608.80	0	1457.50	1395.58	0	279.38	282.14	278.04
2	120.98	7.68	5.97	262.81	228.62	191.48	280.52	55.72	0	1475.73	1440.29	0	2731.27	2675.29	0	285.45	286.23	283.78
2.1	93.76	7.32	6.31	244.57	209.43	171.46	196.87	34.01	0	1349.49	1312.61	0	1974.76	1907.07	0	285.73	286.30	284.59
6	160.99	45.87	10.03	175.80	146.05	115.79	186.05	118.32	0	967.01	916.76	0	1129.14	1013.40	0	281.67	283.61	280.61
7	290.02	23.45	18.88	324.52	292.33	256.82	503.15	169.93	0	1832.75	1795.97	0	1790.71	1729.27	0	284.90	286.08	281.90
7.1	283.19	19.94	21.16	298.65	264.00	227.16	460.15	82.21	0	1694.53	1657.65	0	1591.43	1529.93	0	285.28	286.27	283.14
25	92.73	48.73	4.84	177.81	146.14	112.53	352.36	290.13	0	951.41	912.21	0	2416.98	2354.24	0	279.49	285.38	275.11
31	69.26	43.84	3.95	273.69	242.39	208.55	199.00	129.73	0	1529.59	1486.04	0	1591.21	1525.13	0	281.24	284.83	277.59
31.1	267.72	24.75	20.27	327.20	303.69	277.31	501.90	114.88	0	1891.54	1854.96	0	1560.44	1494.75	0	280.32	285.51	275.77
31.2	262.59	19.90	18.53	302.81	279.71	253.81	508.03	98.83	0	1764.38	1727.83	0	1503.16	1437.47	0	280.39	285.41	275.91
1.1	29.25	31.00	3.22	97.27	78.26	60.31	192.09	121.72	0	506.28	455.03	0	1103.14	1011.18	0	278.41	280.89	277.10
1.2	22.03	27.89	2.94	79.75	64.46	49.46	177.10	109.23	0	412.36	365.06	0	878.73	767.81	0	277.15	279.06	276.12
2.2	74.52	6.47	5.82	256.37	219.15	179.42	180.64	33.32	0	1405.70	1371.33	0	1796.45	1719.45	0	286.31	286.75	285.45
2.3	60.52	6.08	5.46	245.77	208.14	167.74	65.51	17.91	0	1330.66	1295.15	0	1467.05	1376.65	0	286.49	286.80	285.96
6.1	163.25	45.03	10.26	148.86	120.87	92.15	209.37	136.46	0	808.09	755.29	0	864.81	743.41	0	281.71	283.19	280.81
6.2	130.02	39.58	8.81	117.08	93.23	68.61	198.82	129.09	0	609.70	558.27	0	611.89	473.06	0	281.14	282.35	280.40
7.2	254.69	16.40	18.00	311.17	274.17	233.90	346.81	58.34	0	1758.74	1722.45	0	1550.43	1486.87	0	285.84	286.69	284.04
7.3	196.91	11.05	15.94	298.92	261.06	220.14	192.58	40.59	0	1671.51	1634.53	0	1417.50	1338.30	0	286.19	286.74	284.98
25.1	93.76	49.26	4.74	177.31	145.80	112.36	367.17	305.30	0	948.66	909.14	0	2395.03	2331.73	0	279.48	285.38	275.12
25.2	77.89	42.20	4.52	133.67	104.88	75.07	292.21	220.84	0	670.36	625.48	0	1710.72	1643.24	0	278.50	284.08	275.13
31.3	240.77	16.26	14.81	250.21	226.92	201.35	398.60	94.51	0	1428.36	1390.43	0	1328.94	1262.40	0	280.60	284.53	277.28
31.4	208.37	13.41	18.24	209.46	185.56	159.56	304.36	84.05	0	1192.26	1149.22	0	1087.22	1002.16	0	280.77	283.56	278.37
1.3	30.20	28.60	3.40	97.16	78.13	60.04	181.56	113.28	0	506.40	457.19	0	1101.03	1009.04	0	278.41	280.87	277.10
1.4	30.53	31.46	3.24	119.87	95.60	74.39	202.14	132.26	0	649.14	601.17	0	1441.28	1378.07	0	279.40	282.22	278.05
2.4	117.35	7.76	5.74	281.74	246.16	207.78	380.62	67.36	0	1574.53	1539.61	0	2766.80	2709.96	0	285.88	286.61	284.25
2.5	93.44	7.16	5.92	265.10	228.69	189.40	242.55	44.06	0	1463.83	1430.12	0	2125.00	2060.53	0	286.16	286.69	285.03

Le tableau suivant récapitule les efforts maximaux observés dans les amarres et les chaînes à l’issue de cette dernière série de simulations, quelques soient les conditions environnementales et quelque soit la charge du navire. Bien entendu, ces efforts maximaux ne sont pas concomitants dans toutes les lignes.

**Tab 7 : Efforts maximaux dans les amarres et les chaînes**

	Ligne captive (1)	Amarres nylon		Chaîne avant		Chaîne arrière		Chaîne d'ancrage du navire	
		avant	arrière	au coffre	au châssis araignée	au coffre	au châssis araignée	au chaumard	à l'ancre
<b>Effort max / ligne (kN)</b>	290	49	327	508	305	1892	1855	2767	2710

**Note (1) :** Il est rappelé que la ligne captive est une boucle, ce qui a pour effet de répartir les efforts également sur les 2 brins de la boucle. Si l'on considérait deux lignes captives au lieu d'une boucle, l'effort maximal dans la ligne la plus tendue serait certainement un peu plus important que celui figurant dans le tableau ci-dessus.

#### 4.4.2. ANALYSE

Des courbes montrant les ratios d'efforts par rapport à la charge à la rupture dans les différentes lignes composant le système de mouillage figurent en Annexe 3. Les principales conclusions que l'on peut tirer de l'analyse de ces derniers résultats sont exposées ci-après.

##### 4.4.2.1. COEFFICIENTS DE MAREE

La différence entre les efforts pour un coefficient de marée de 95 et ceux pour un coefficient de marée de 110 est faible.

##### 4.4.2.2. EFFORTS DANS LES LIGNES

A pleine charge, ce sont les conditions de jusant qui induisent les efforts dans les lignes les plus importants.

Les efforts dans la « boucle captive » sont relativement peu élevés. Aussi, il nous semble que l'on pourrait équiper le système avec une seule ligne captive, ayant les mêmes caractéristiques (charge maximale à la rupture de 127 t) et qui reprendrait environ le double des efforts indiqués dans le tableau ci-dessus, sans pour autant atteindre la limite de service admissible (et avec des avantages opérationnels significatifs).

##### 4.4.2.3. SYSTEME ANCRE + CHAINE D'ANCRAGE DU NAVIRE

###### 4.4.2.3.1. CHAINE D'ANCRAGE

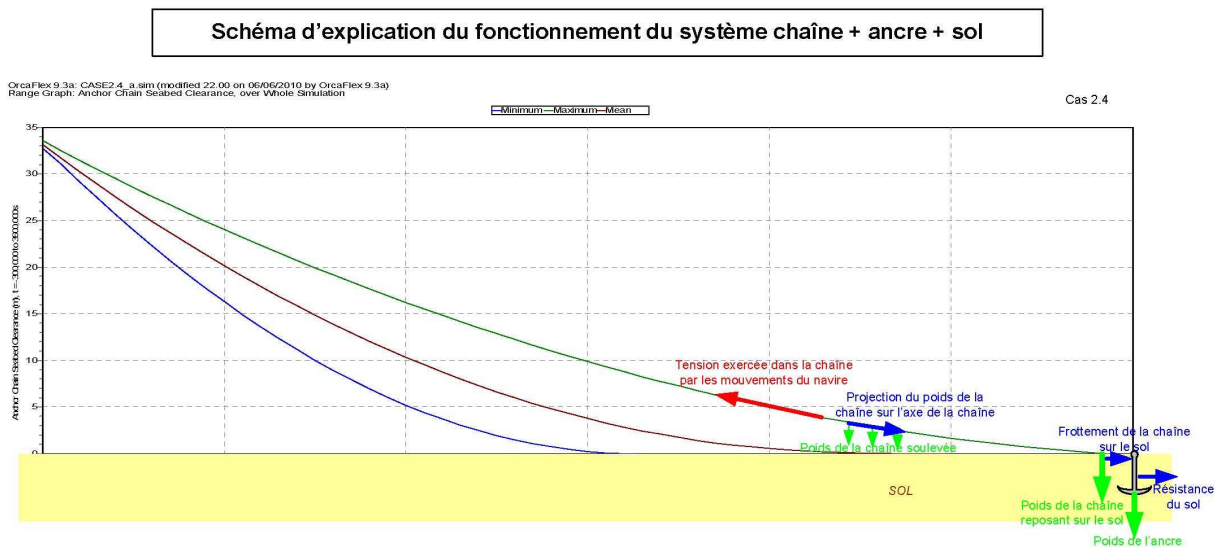
C'est désormais la chaîne d'ancrage du navire qui est la plus sollicitée. La tension dans la chaîne reste toujours inférieure à la limite de service, même si pour une houle de Nord-Ouest et une hauteur significative de houle de 1.80 m (et une vitesse de vent de 14 m/s), elle atteint environ 56% de la charge maximale à la rupture. Nous recommanderions de fixer le seuil opérationnel pour la houle de Nord-Ouest à Hs=1.50 m, de manière à garder une marge de sécurité. Un seuil Hs=1.50 m pour la houle de Nord-Est et une vitesse de vent de 14 m/s sont également adéquats pour un coefficient de marée allant jusqu'à 110. Par ailleurs, en augmentant la pré-tension dans les amarres avant, on soulagerait certainement la chaîne d'ancrage du navire d'une partie des efforts.

###### 4.4.2.3.2. ANCRE DU NAVIRE

Tout d'abord, il est à noter qu'il n'y a jamais de soulèvement de l'ancre du navire et qu'il y a toujours au moins 5 m de chaîne reposant sur le sol (ce qui est peu mais pas nul), même dans les cas les plus critiques.

De nombreuses questions ont été posées au cours de l'étude par le PdC et par le CETMEF sur le fonctionnement du système chaîne + ancre + sol. Aussi, il nous paraît important de préciser ici comment marche le système.

**Figure 13 : Principe de fonctionnement du système chaîne + ancre + sol**



Les efforts indiqués en vert ou en bleu s'opposent tous à l'effort de traction (en rouge) qui s'exerce sur le système chaîne + ancre + sol et qui est causé par les déplacements du navire.

L'effort de traction dans la chaîne d'ancrage est en grande partie repris par le poids de la chaîne, soulevée d'une part, et reposant sur le sol d'autre part en combinaison avec l'effort de frottement chaîne/sol.

Il faut noter également que l'ancre, dont le poids est compris entre 14 et 16 t, s'oppose à la traction non seulement par son poids propre, mais aussi et surtout par la résistance qu'elle mobilise. Cette résistance dépend bien entendu de la nature du sol. Pour un fond sableux, comme c'est le cas pour notre projet, la pénétration de l'ancre dans le sol est aisée. Aussi, l'efficacité de l'ancre est optimale.

Dans le cas d'une ancre à jas (dite « Stockless ») équipant habituellement les navires de type Capesize, la résistance de l'ancre peut atteindre 8 fois son poids, dans un sol sableux. C'est ce que montre le tableau suivant, extrait du livre Construction of Marine and Offshore Structures par Ben C. Gerwick et basé sur les rapports du Naval Civil Engineering Lab, (Port Hueneme, Californie).

**Tab 8 : Efficacité d'une ancre selon le type d'ancre et le type de sol**

Type d'ancre	Efficacité (ratio effort de traction / poids de l'ancre)	
	Sable	Boue
Stockless	8	3
Stevfix	18	15
Stevfix	31	15
Stevdig	29	-
Stevmug	-	20
Hook	12	18
Bruce	25	-
Bruce Twin Shank	-	12
Doris Mud Anchor	-	20
Danforth	15	15

#### Cas d'une houle limitée à Hs=1.50 m

Les résultats des dernières simulations ORCAFLEX ont montré que pour un vent à 14 m/s et une houle du Nord-Ouest de Hs=1,50 m (cas n° 2.5), la valeur moyenne de la traction au niveau de l'ancre est légèrement inférieure à 120 t (voir Annexe 3). D'après le tableau ci-dessus, cette valeur est admissible pour une ancre de type Stockless ou équivalente d'un poids compris entre 14 et 16 t (résistance comprise entre 112 et 128 t).

Il est à noter que les valeurs fournies par la littérature sont normalement sécuritaires. Les résultats du modèle mathématique ORCAFLEX mènent à des conclusions moins sévères.

En tout cas, même d'après la littérature, dans ces conditions l'ancre ne se déplacera pas et remplira sa fonction dès le début de sa sollicitation, sous réserve d'une mise en place dans les règles de l'art.

#### Cas d'une houle atteignant Hs=1.80 m

Pour un vent de 14 m/s et une houle de Nord-Ouest de Hs=1,80 m (cas n° 2.4), la valeur moyenne de l'effort est légèrement supérieure à l'effort admissible basé sur la référence citée plus haut (voir Annexe 3).

Même si le modèle ORCAFLEX montre qu'une portion de la chaîne d'ancrage reste horizontale sur le fond et qu'aucun soulèvement de l'ancre n'est observé (ce qui correspond, dans un fonctionnement normal, à l'absence de translation de l'ancre sur le sol), ces efforts importants pourraient éventuellement se traduire par un déplacement de l'ancre sur le fond de la mer. Ce déplacement ne serait que ponctuel, car il aurait pour effet de rééquilibrer les tensions entre les lignes liées au coffre avant (elles sont initialement peu sollicitées) et la chaîne d'ancrage du navire. L'ancre serait traînée sur le sol jusqu'à ce qu'une nouvelle position d'équilibre du système soit trouvée, c'est-à-dire jusqu'à ce que les amarres et les lignes captives avant reprennent l'effort correspondant au dépassement de l'effort admissible par l'ancre.

Dans le cas n°2.4 (houle de Hs = 1.80 m de 310°N), le plus critique pour le système chaîne d'ancrage du navire + ancre, l'effort moyen sur l'ancre excède de 10 à 20 t la charge admissible si l'on se base sur la littérature. Même si l'ancre devait être traînée sur le fond jusqu'à réduire l'effort qui lui est appliqué à environ 120 t, les 10 à 20 t excédantes seraient transférées et réparties dans les lignes liées au coffre avant. La tension dans les lignes captives pourrait alors atteindre une valeur maximale comprise entre 20 et 30 t par ligne, ce qui est encore inférieur à la tension limite de service qui est de 64 t (avec une seule ligne captive, on arriverait à une tension dans la ligne captive quasiment égale à la limite de service ; il

faudrait alors prendre quelques précautions, au niveau de la pré-tension dans les amarres avant par exemple).

4.4.2.4. SYSTEME COFFRES + CHAINES

Les efforts dans la chaîne reliant le coffre avant au châssis araignée avant sont peu élevés (5% de la charge à la rupture de la chaîne). Les efforts dans la chaîne reliant le coffre arrière au châssis araignée arrière avoisinent, dans le pire des cas, 16% de la charge à la rupture de la chaîne.

## 4.5. SEUILS OPERATIONNELS DE TENUE A POSTE

Compte tenu des derniers résultats des simulations ORCAFLEX, nous recommanderions de fixer les seuils opérationnels comme suit :

**Tab 9 : Seuils opérationnels de tenue à poste**

	Houle		Vent		Courant	
<b>Navire à pleine charge</b>	Houle de NO	Hs=1.50 m	Vent d'O	14 m/s	Flot et jusant	Jusqu'à coeff de marée de 110
	Houle de NE	Hs=1.50 m	Vent de NE	14 m/s	Flot et jusant	Jusqu'à coeff de marée de 110
<b>Navire à mi-charge</b>	Houle de NO	Hs=1.50 m	Vent d'O	14 m/s	Flot et jusant	Jusqu'à coeff de marée de 110
	Houle de NE	Hs=1.50 m	Vent de NE	14 m/s	Flot et jusant	Jusqu'à coeff de marée de 110

Ces seuils conduisent à des taux d'indisponibilité du poste liée à la houle de 10% pour les houles de Nord-Ouest et de 5% pour les houles de Nord-Est, ce qui reste acceptable.

oOo

---

## 5. CONCLUSION

---

La nouvelle configuration de mouillage proposée par le port de Cherbourg semble satisfaisante à ce stade de l'étude, même si elle amène à quelques réflexions sur le mode opératoire :

**Soit le seuil opérationnel de tenue à poste pour la houle de Nord-Ouest est fixé à Hs=1.80 m** : il faut alors accepter la possibilité d'un glissement de l'ancre du navire sur le fond jusqu'à une nouvelle position d'équilibre du navire. L'augmentation de la pré-tension dans les lignes avant (amarres du navire et lignes captives) pourrait éventuellement soulager la chaîne d'ancrage et l'ancre du navire d'une partie des efforts. On pourrait également imaginer réduire l'angle entre les lignes avant et la chaîne d'ancrage du navire de manière à mieux répartir les efforts. Un seuil à 1.80 m de Hs amènerait à un taux d'indisponibilité du poste liée à la houle de 5%.

**Soit le seuil opérationnel de tenue à poste pour la houle de Nord-Ouest est fixé à Hs=1.50 m** : on s'affranchit alors des problèmes de glissement de l'ancre du navire sur le fond de la mer mais on est confronté à un taux d'indisponibilité du poste liée à la houle de 10%, ce qui reste toutefois acceptable compte tenu du trafic envisagé par le PdC.

Dans tous les cas, **le seuil opérationnel de tenue à poste pour la houle de Nord-Est est Hs=1.50 m**, ce qui amène à un taux d'indisponibilité du poste liée à la houle de 5%.

oOo



---

## 6. TABLE DES ANNEXES

---

- Annexe 1 :** Coefficients de transformation de la hauteur et de la direction de la houle entre la bouée CANDHIS 05008 et la zone de mouillage.
- Annexe 2 :** Profils de courant dans la zone de mouillage.
- Annexe 3 :** Sorties ORCAFLEX et courbes d'efforts dans les lignes composant le système de mouillage.

oOo

---

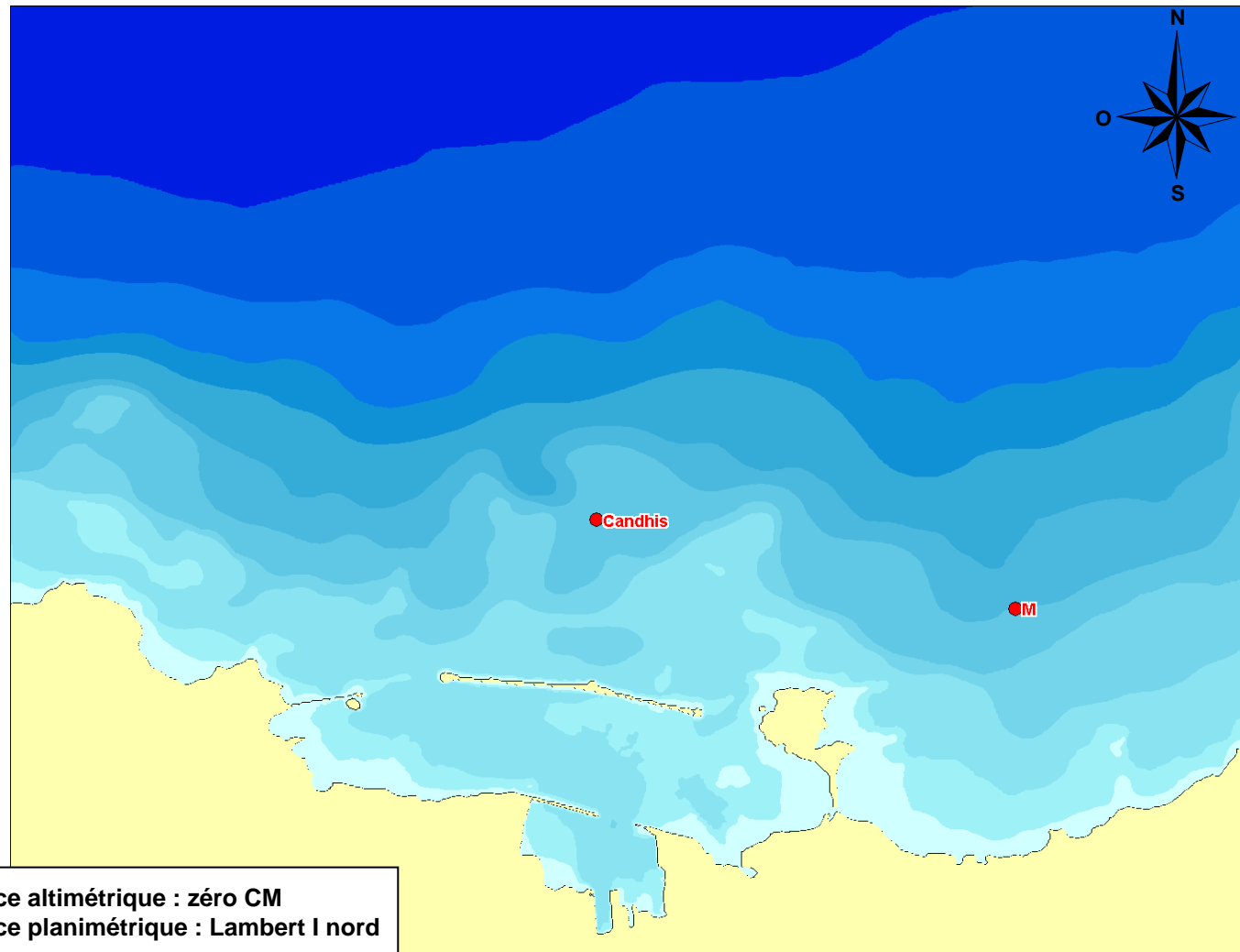
## ANNEXE 1

---

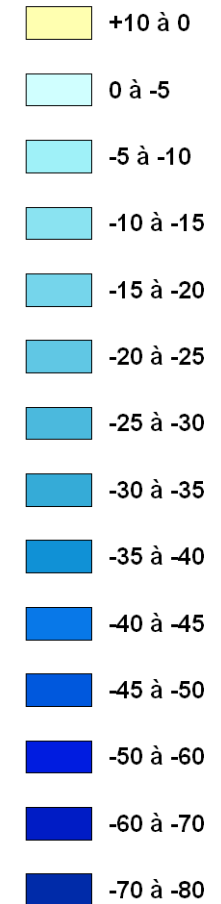
**Coefficients de transformation de la hauteur et de la direction de la houle entre la bouée  
CANDHIS 05008 et la zone de mouillage**

Fig. 1

**MODELE DE PROPAGATION SWAN**  
**Emprise du modèle et bathymétrie**



Bathymétrie (m CM)



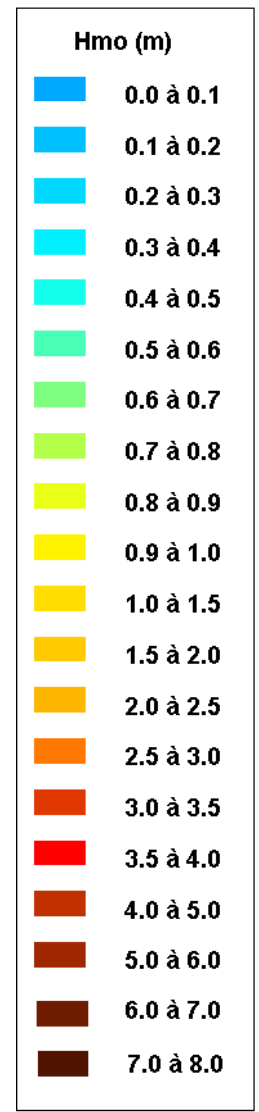
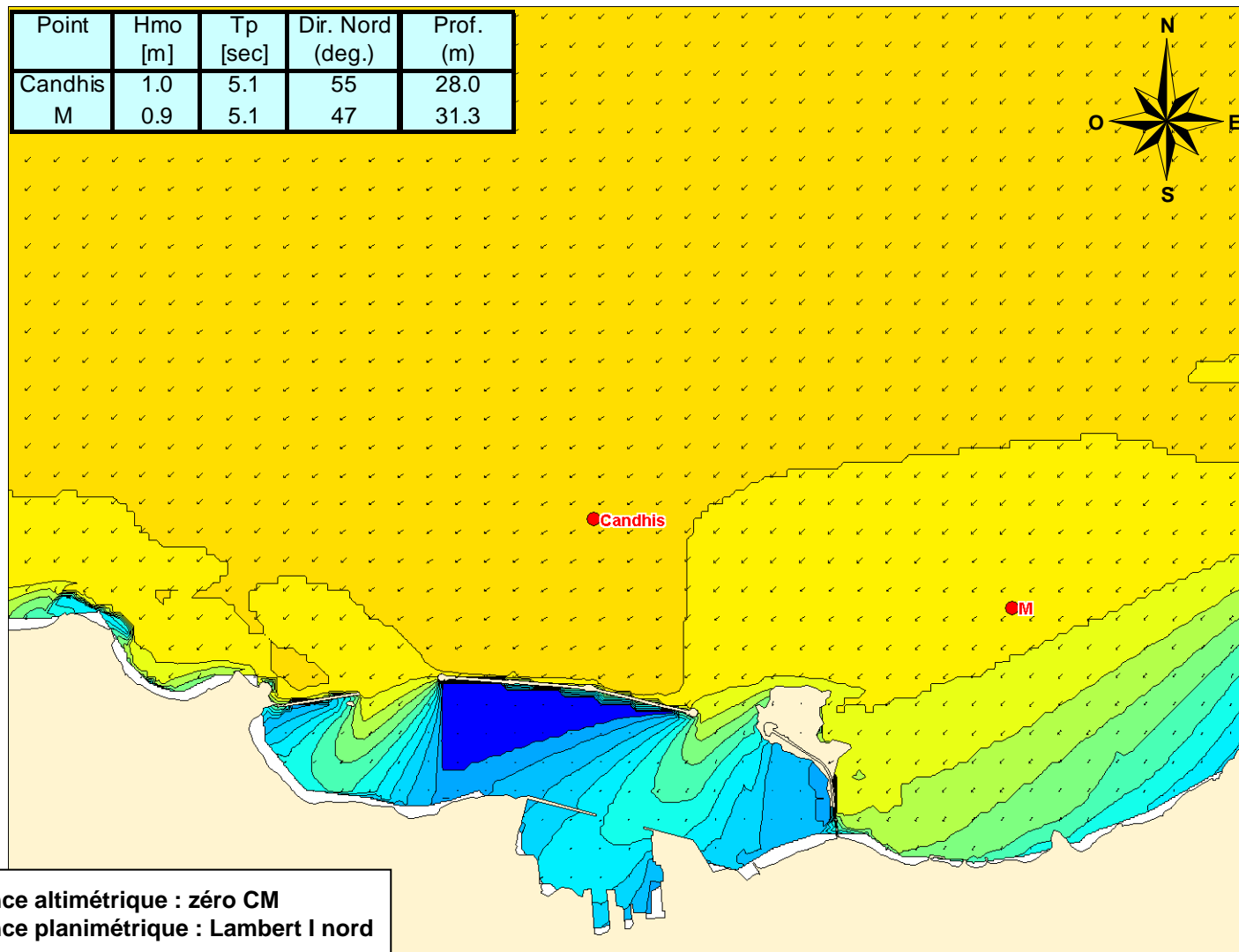
Référence altimétrique : zéro CM  
Référence planimétrique : Lambert I nord



Fig. 2

**MODELE DE PROPAGATION SWAN :**  
 Houle de direction au large N50°, Tp = 5.0s, Hmo = 1.0m, Niv. = +6.30m CM

Point	Hmo [m]	Tp [sec]	Dir. Nord (deg.)	Prof. (m)
Candhis	1.0	5.1	55	28.0
M	0.9	5.1	47	31.3



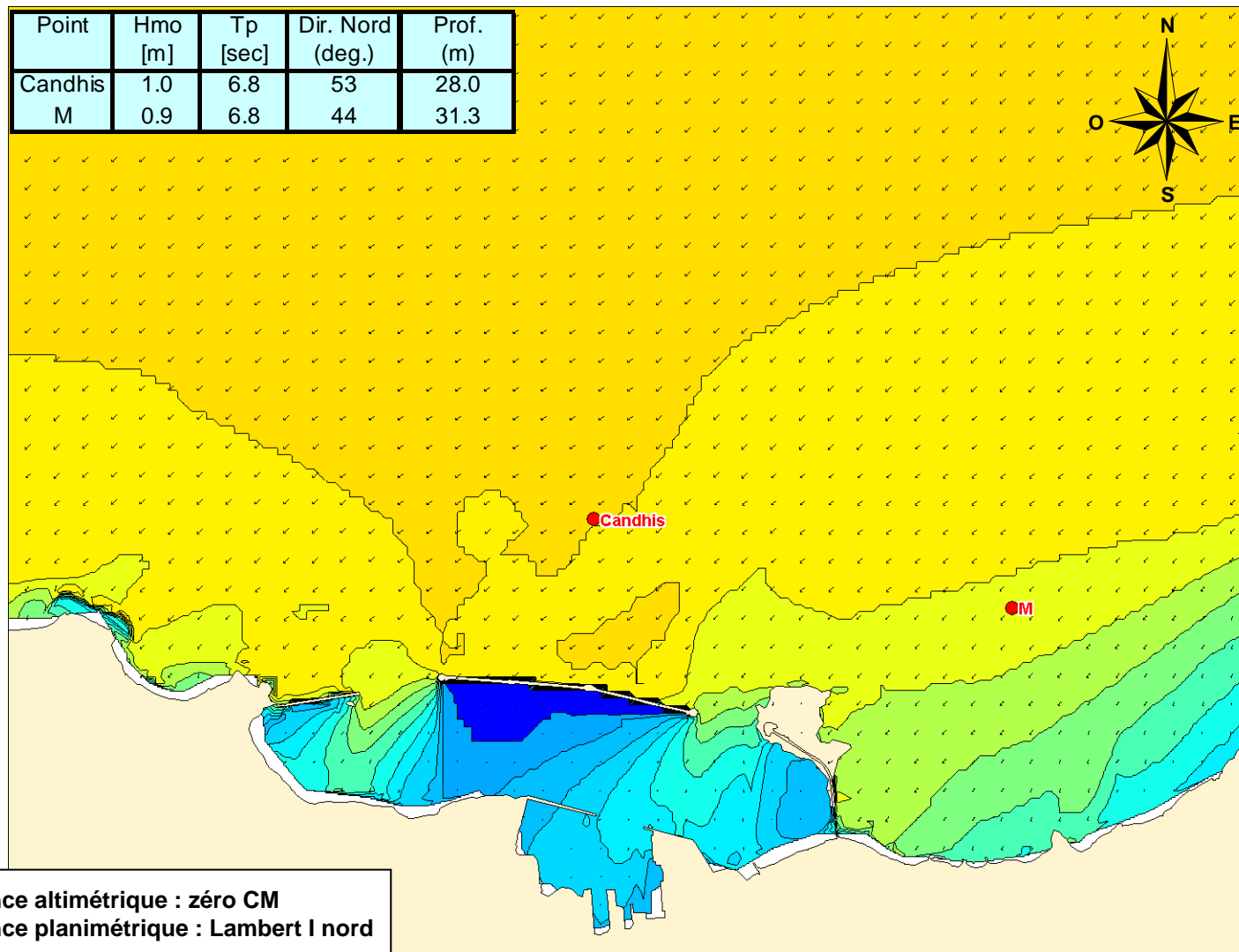
Référence altimétrique : zéro CM  
 Référence planimétrique : Lambert I nord



Fig. 3

**MODELE DE PROPAGATION SWAN :**  
**Houle de direction au large N50°, Tp = 7.0s, Hmo = 1.0m, Niv. = +6.30m CM**

Point	Hmo [m]	Tp [sec]	Dir. Nord (deg.)	Prof. (m)
Candhis	1.0	6.8	53	28.0
M	0.9	6.8	44	31.3

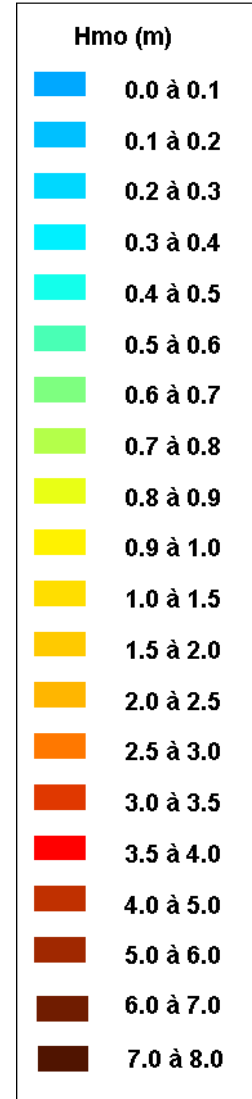
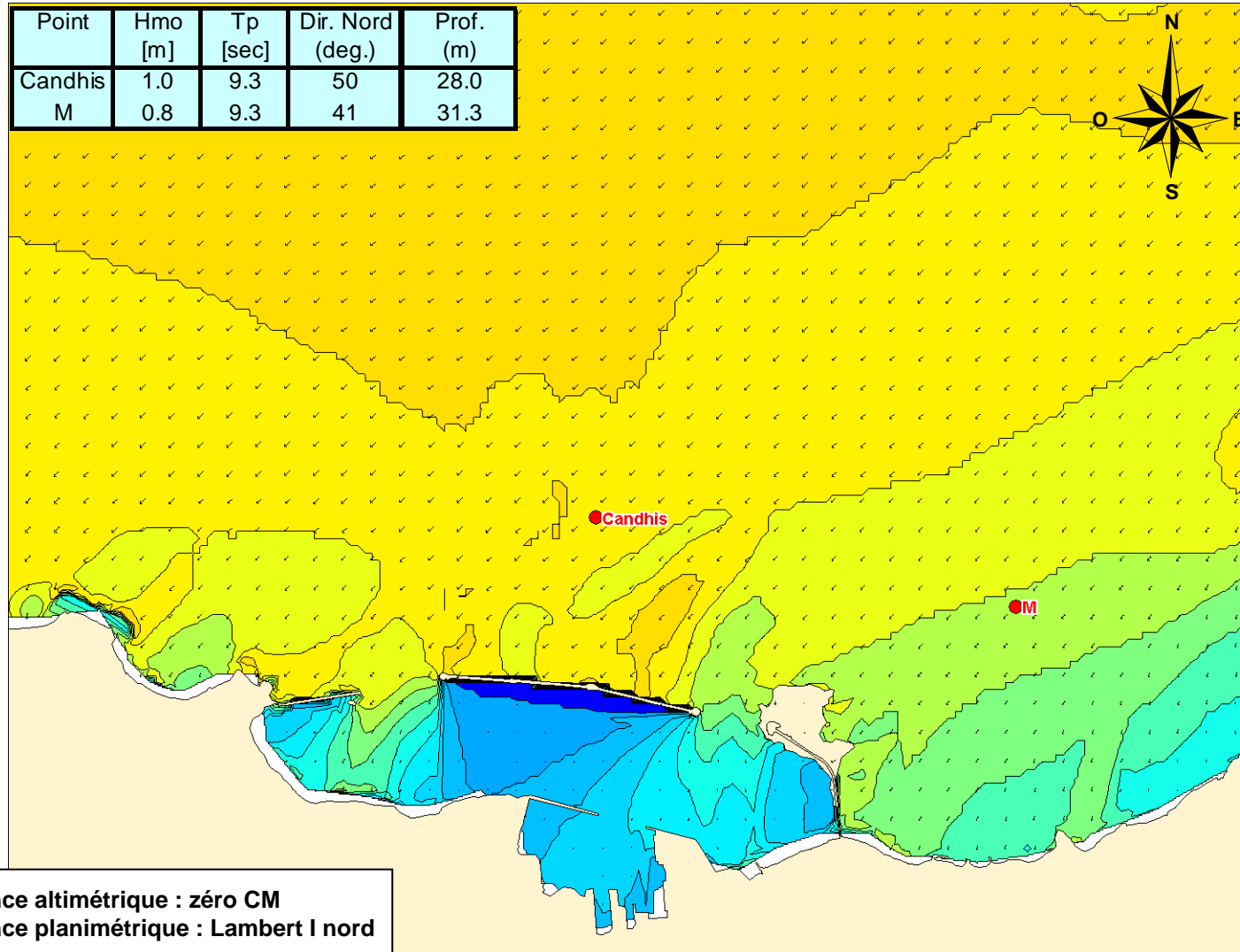


Référence altimétrique : zéro CM  
 Référence planimétrique : Lambert I nord

Fig. 4

**MODELE DE PROPAGATION SWAN :**  
 Houle de direction au large N50°, Tp = 9.0s, Hmo = 1.0m, Niv. = +6.30m CM

Point	Hmo [m]	Tp [sec]	Dir. Nord (deg.)	Prof. (m)
Candhis	1.0	9.3	50	28.0
M	0.8	9.3	41	31.3



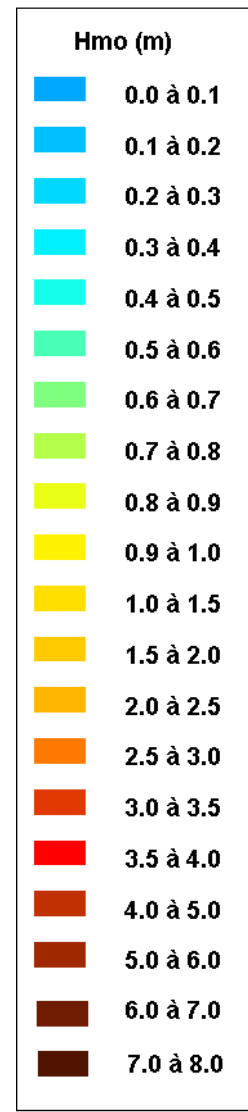
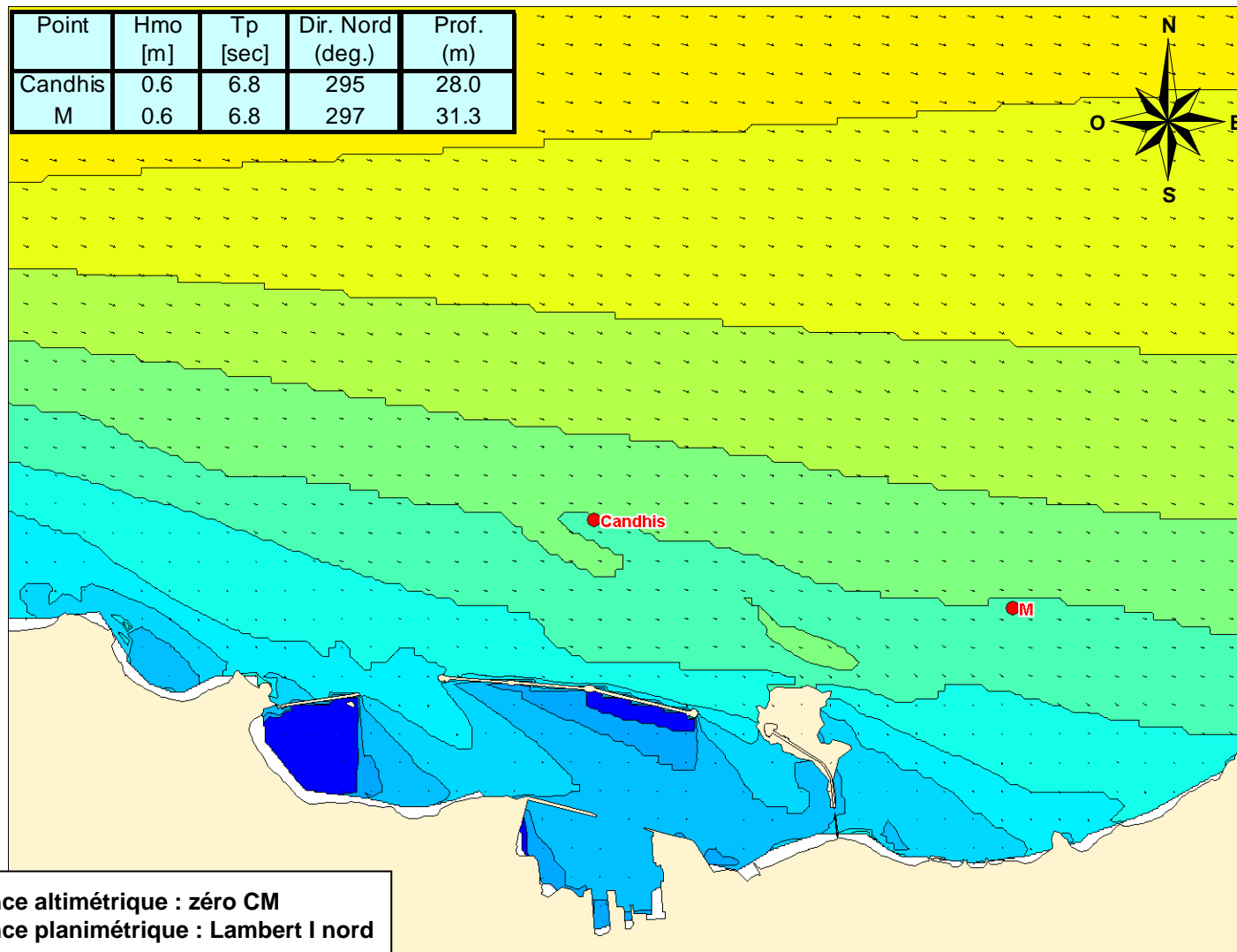
Référence altimétrique : zéro CM  
 Référence planimétrique : Lambert I nord



Fig. 5

**MODELE DE PROPAGATION SWAN :**  
 Houle de direction au large N280°, Tp = 7.0s, Hmo = 1.0m, Niv. = +6.30m CM

Point	Hmo [m]	Tp [sec]	Dir. Nord (deg.)	Prof. (m)
Candhis	0.6	6.8	295	28.0
M	0.6	6.8	297	31.3



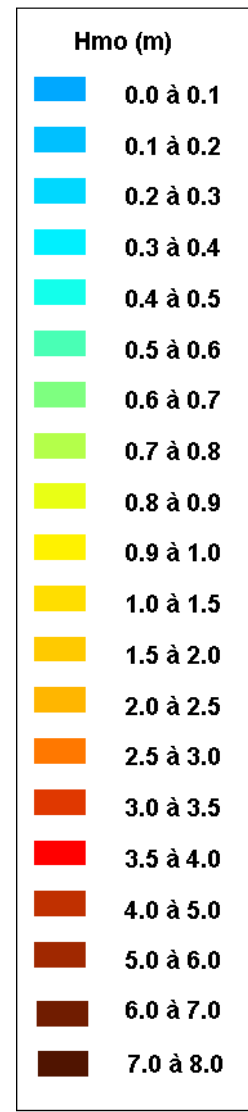
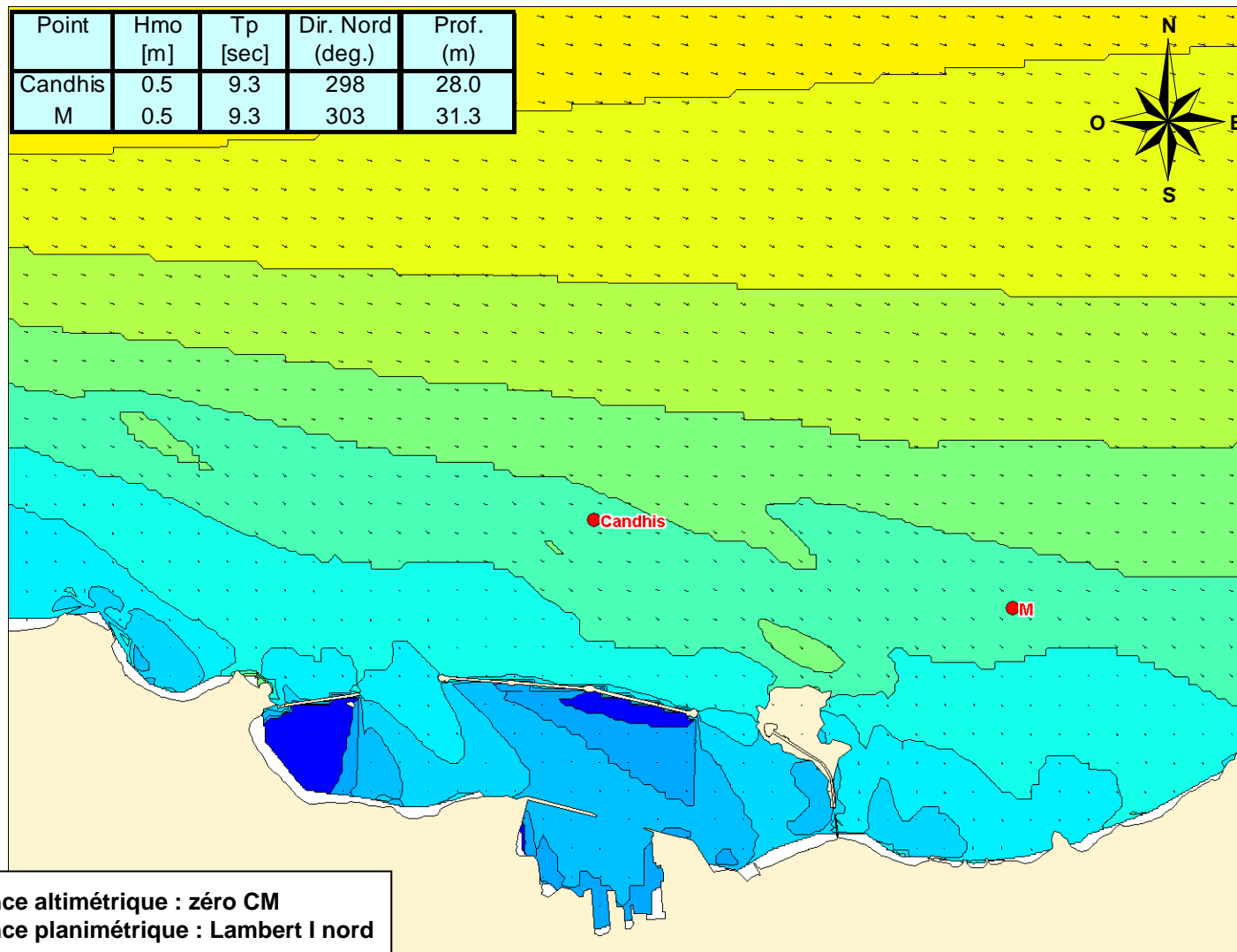
Référence altimétrique : zéro CM  
 Référence planimétrique : Lambert I nord



Fig. 6

**MODELE DE PROPAGATION SWAN :**  
 Houle de direction au large N280°, Tp = 9.0s, Hmo = 1.0m, Niv. = +6.30m CM

Point	Hmo [m]	Tp [sec]	Dir. Nord (deg.)	Prof. (m)
Candhis	0.5	9.3	298	28.0
M	0.5	9.3	303	31.3



Référence altimétrique : zéro CM  
 Référence planimétrique : Lambert I nord

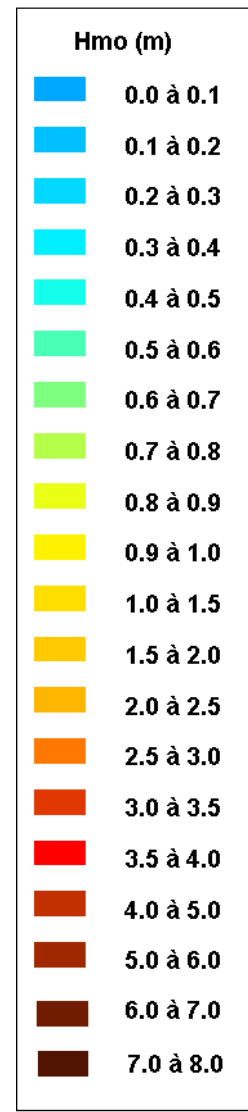
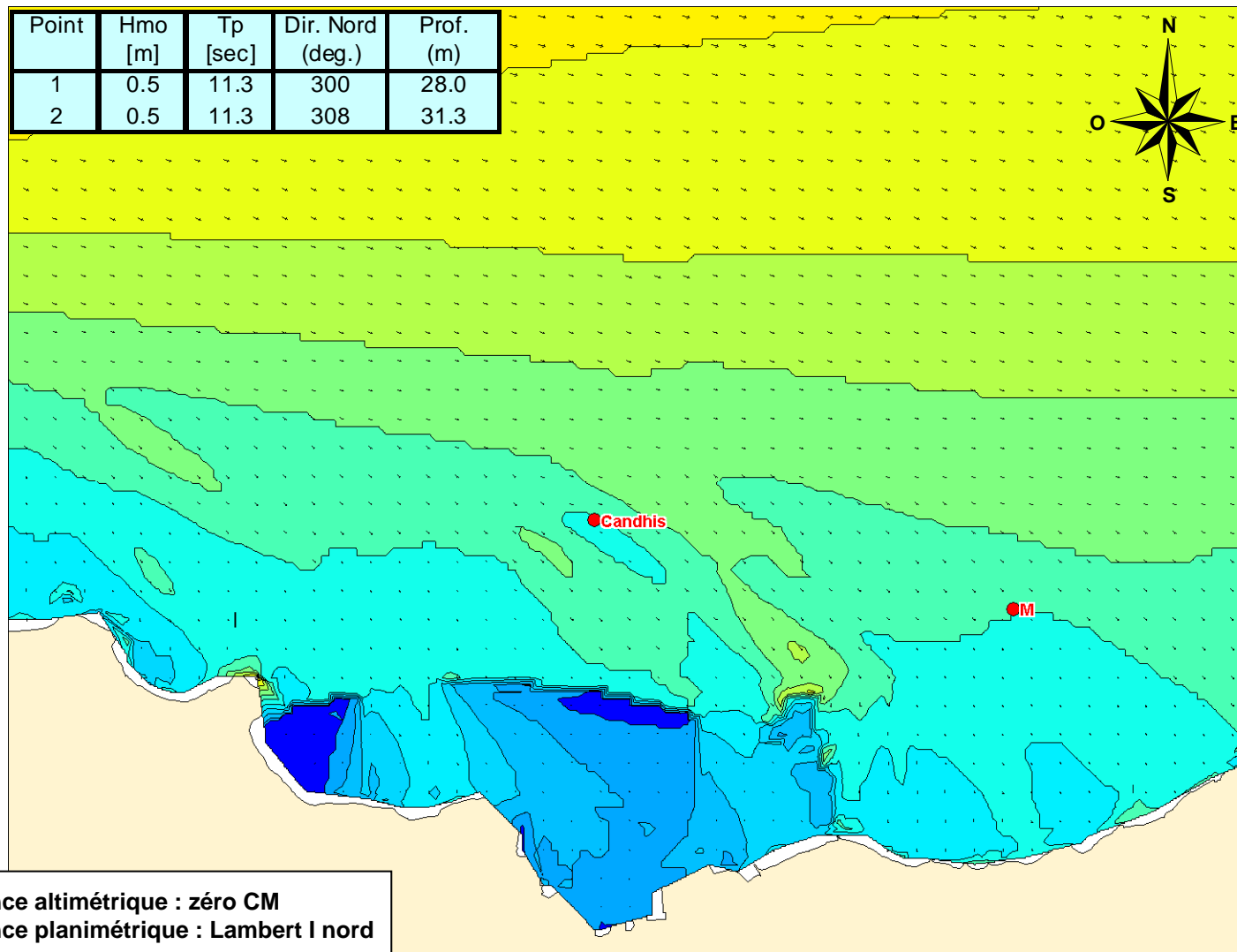




Fig. 7

**MODELE DE PROPAGATION SWAN :**  
**Houle de direction au large N280°, Tp = 11.0s, Hmo = 1.0m, Niv. = +6.30m CM**

Point	Hmo [m]	Tp [sec]	Dir. Nord (deg.)	Prof. (m)
1	0.5	11.3	300	28.0
2	0.5	11.3	308	31.3



Référence altimétrique : zéro CM  
 Référence planimétrique : Lambert I nord

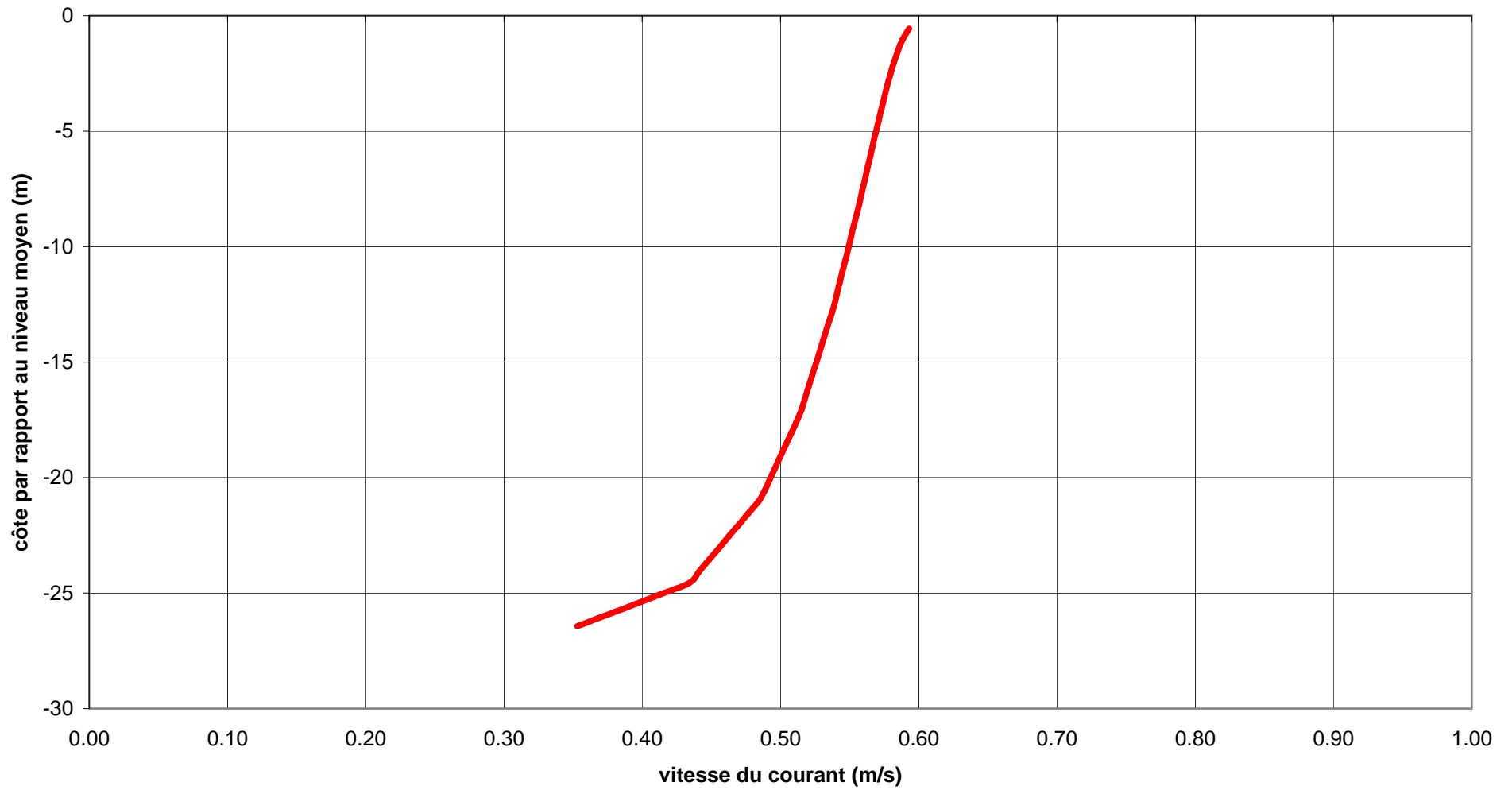
---

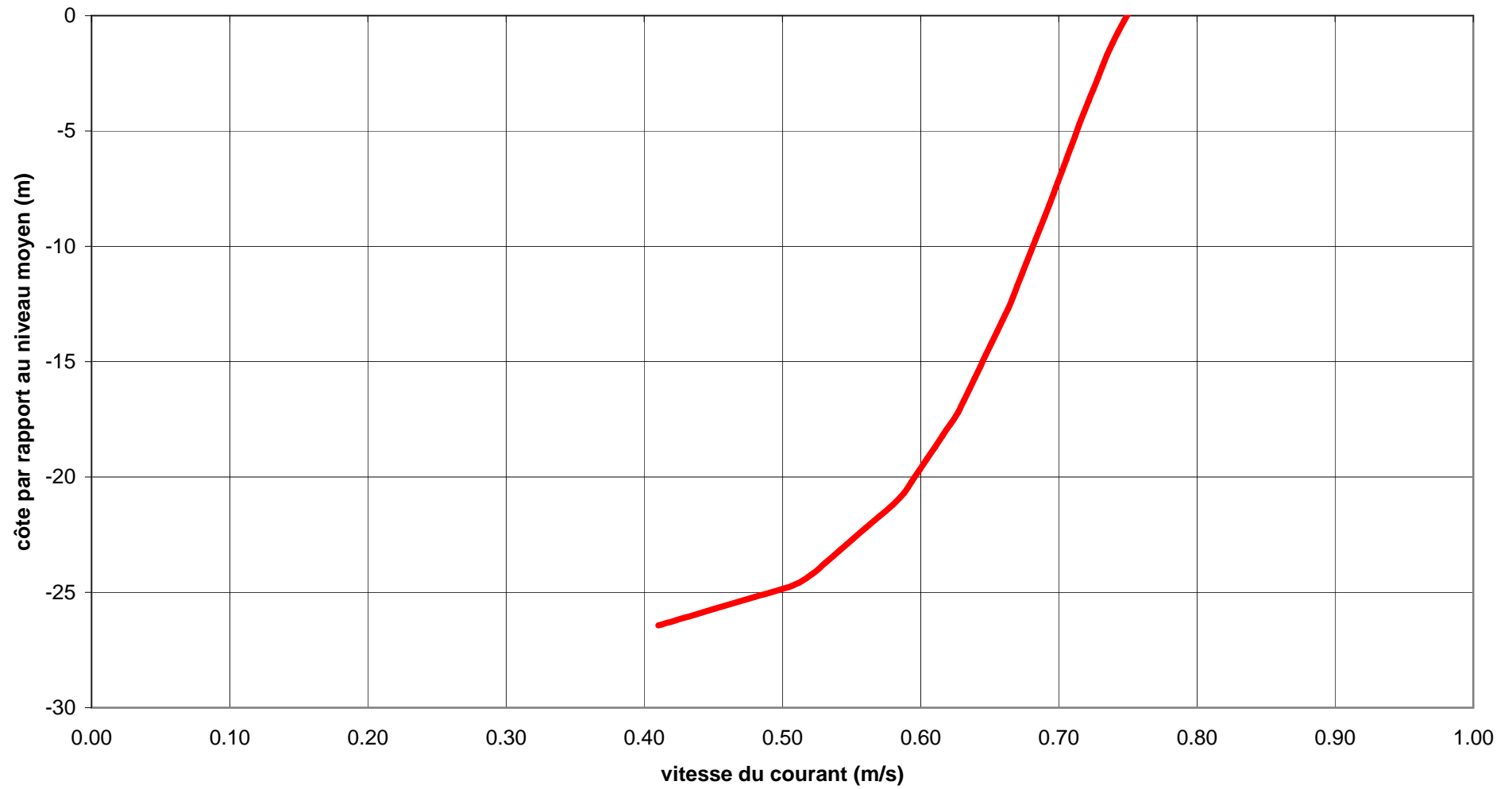
## ANNEXE 2

---

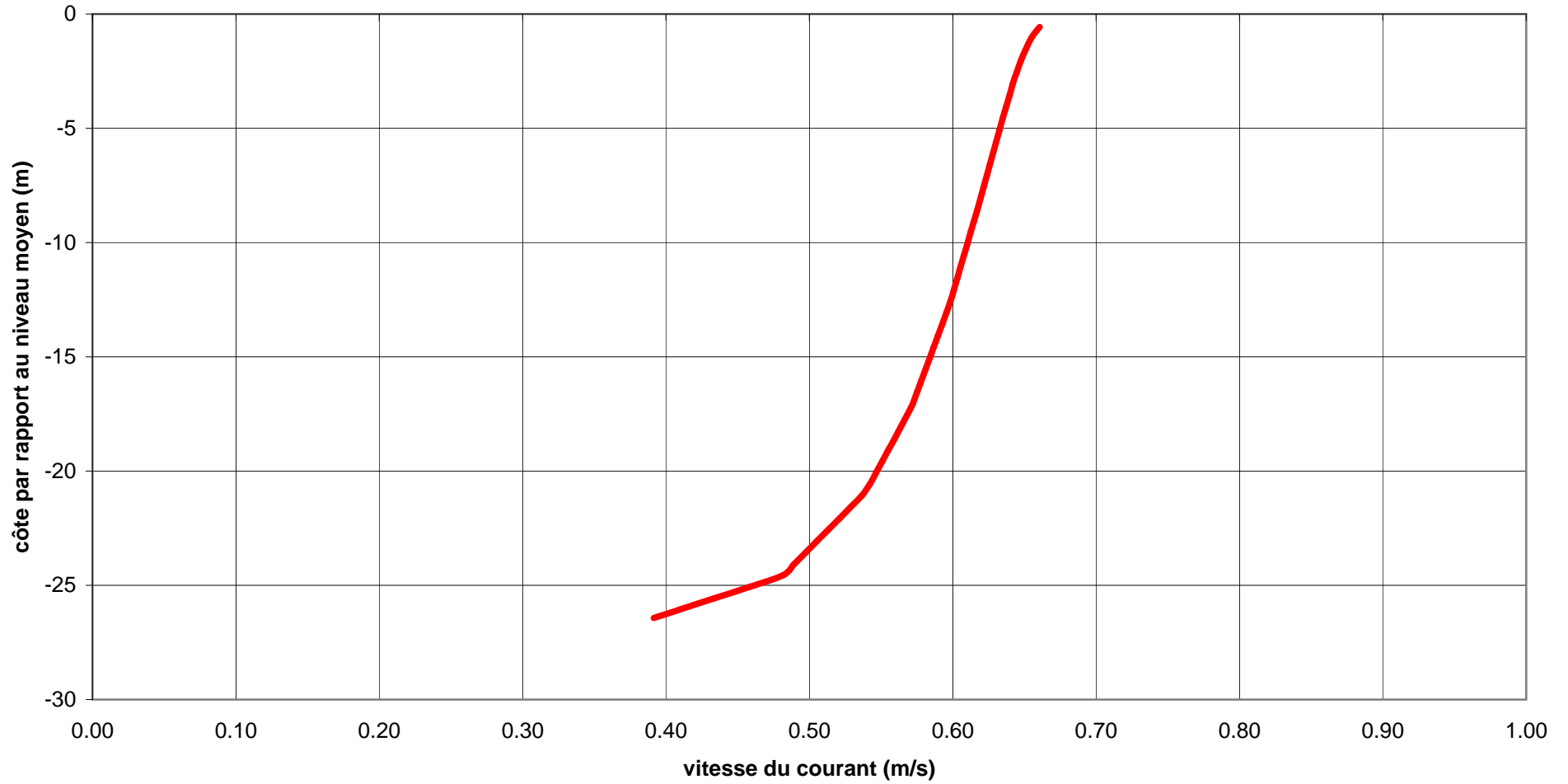
**Profils de courant dans la zone de mouillage**

**Profil de courant dans la zone de mouillage du Capesize  
Jusant Coeff 70**

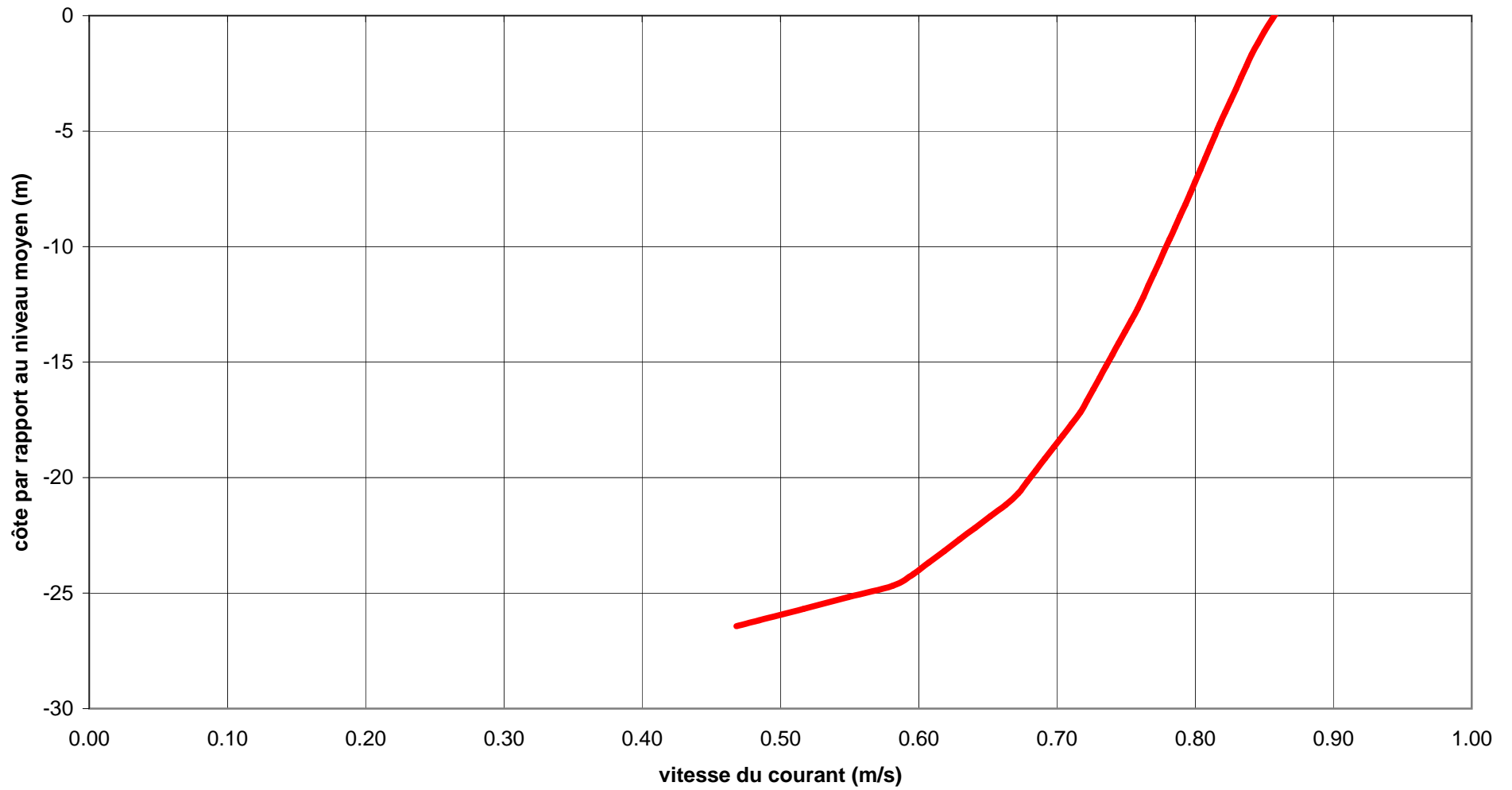


**Profil de courant dans la zone de mouillage du Capsize  
Flot Coeff 70**

**Profil de courant dans la zone de mouillage du Capesize  
Jusant Coeff 95**



**Profil de courant dans la zone de mouillage du Capesize  
Flot Coeff 95**



---

## ANNEXE 3

---

**Sorties ORCAFLEX et courbes d'efforts dans les lignes composant le système de mouillage**

Run N°	Case	Load	Wave			Wind		Current	
			Hs (m)	Tp (s)	Dir (°N)	Speed (m/s)	Dir (°N)	Speed (m/s)	Dir (°N)
1	1	FL	1.80	9	310	14	270	0.81	100
2	2	FL	1.80	9	310	14	270	0.62	263
20	2.1	FL	1.50	9	310	14	270	0.62	263
3	6	FL	1.50	5	40	14	60	0.81	100
4	7	FL	1.50	5	40	14	60	0.62	263
21	7.1	FL	1.30	5	40	14	60	0.62	263
5	25	MC	1.80	9	310	14	270	0.81	100
6	31	MC	1.50	9	40	14	60	0.81	100
22	31.1	MC	1.50	5	40	14	60	0.62	263
23	31.2	MC	1.40	5	40	14	60	0.62	263
24	1.1	FL	1.50	9	310	14	270	0.86	100
25	1.2	FL	1.20	9	310	14	270	0.86	100
26	2.2	FL	1.30	9	310	14	270	0.66	263
27	2.3	FL	1.00	9	310	14	270	0.66	263
28	6.1	FL	1.30	5	40	14	60	0.86	100
29	6.2	FL	1.00	5	40	14	60	0.86	100
30	7.2	FL	1.20	5	40	14	60	0.66	263
31	7.3	FL	1.00	5	40	14	60	0.66	263
32	25.1	MC	1.80	9	310	14	270	0.86	100
33	25.2	MC	1.50	9	310	14	270	0.86	100
34	31.3	MC	1.20	5	40	14	60	0.66	263
35	31.4	MC	1.00	5	40	14	60	0.66	263
36	1.3	FL	1.50	9	310	14	270	0.81	100
37	1.4	FL	1.80	9	310	14	270	0.86	100
38	2.4	FL	1.80	9	310	14	270	0.66	263
39	2.5	FL	1.50	9	310	14	270	0.66	263

Coeff 95

Coeff 110

**95**

**110**

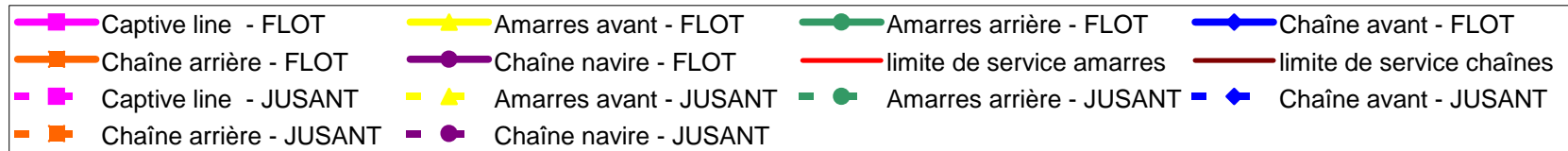
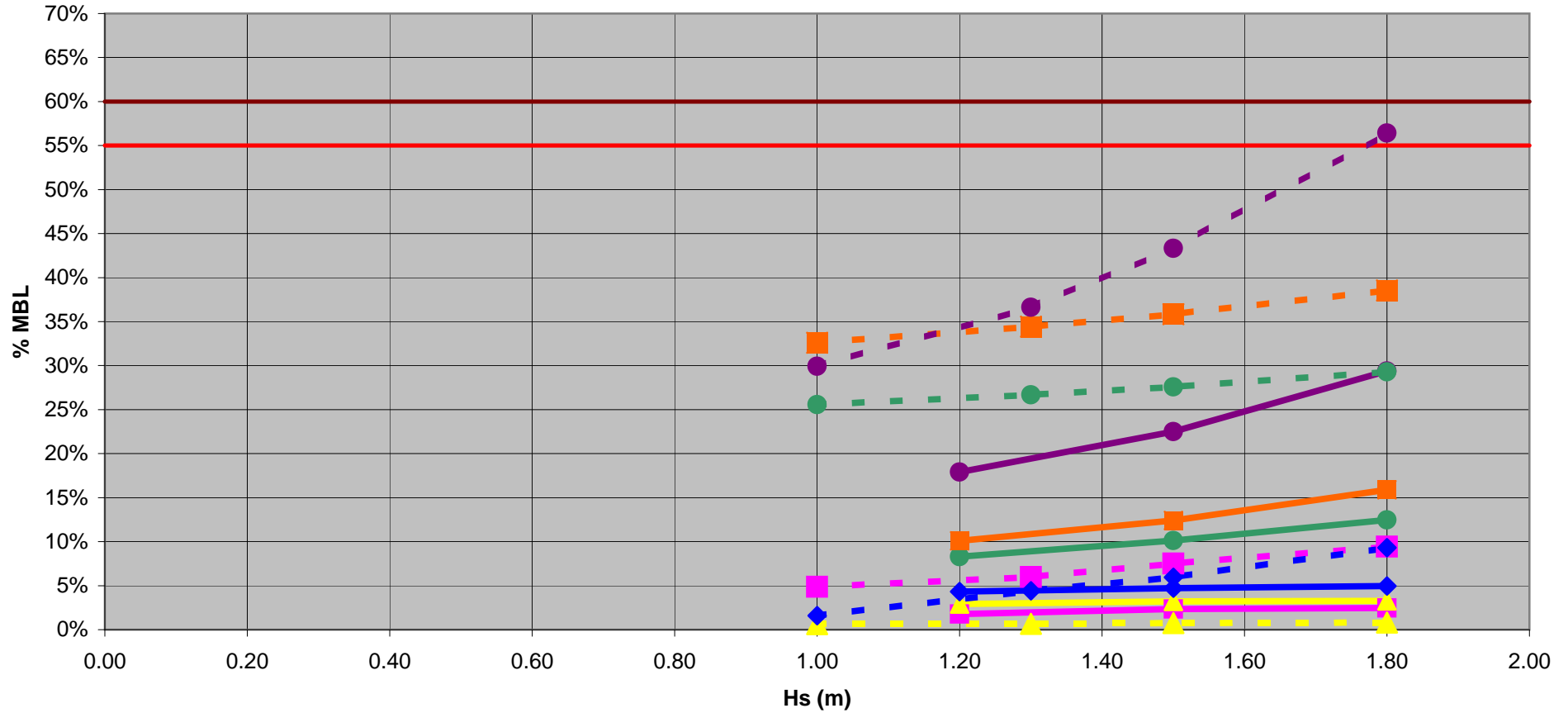
**110**

**110**

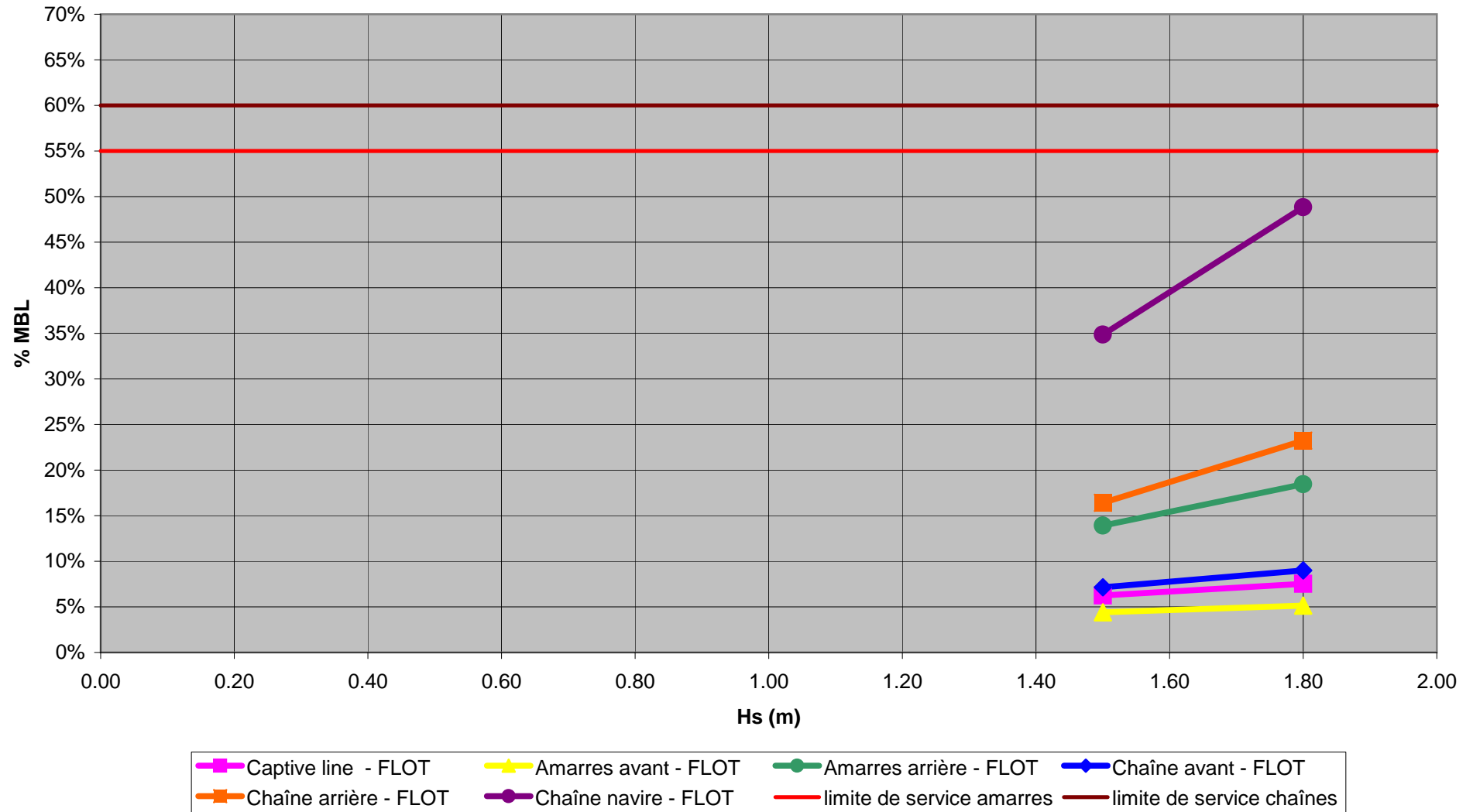


Case	Captive cable (kN)	Bow line1 (kN)	Bow line2 (kN)	Stern line1 (kN)	Stern line2 (kN)	Stern line3 (kN)	Bow chain at buoy (kN)	Bow chain at anchor (kN)	Bow anchor uplift (deg)	Stern chain at buoy (kN)	Stern chain at anchor (kN)	Stern anchor uplift (deg)	Ship chain at fairlead (kN)	Ship chain at anchor (kN)	Ship anchor uplift (deg)	Ship RZ Mean (deg)	Ship RZ Max (deg)	Ship RZ Min (deg)
1	32.35	3.61	30.30	120.95	96.58	75.21	197.67	127.75	0	657.10	608.80	0	1457.50	1395.58	0	279.38	282.14	278.04
2	120.98	7.68	5.97	262.81	228.62	191.48	280.52	55.72	0	1475.73	1440.29	0	2731.27	2675.29	0	285.45	286.23	283.78
2.1	93.76	7.32	6.31	244.57	209.43	171.46	196.87	34.01	0	1349.49	1312.61	0	1974.76	1907.07	0	285.73	286.30	284.59
6	160.99	45.87	10.03	175.80	146.05	115.79	186.05	118.32	0	967.01	916.76	0	1129.14	1013.40	0	281.67	283.61	280.61
7	290.02	23.45	18.88	324.52	292.33	256.82	503.15	169.93	0	1832.75	1795.97	0	1790.71	1729.27	0	284.90	286.08	281.90
7.1	283.19	19.94	21.16	298.65	264.00	227.16	460.15	82.21	0	1694.53	1657.65	0	1591.43	1529.93	0	285.28	286.27	283.14
25	92.73	48.73	4.84	177.81	146.14	112.53	352.36	290.13	0	951.41	912.21	0	2416.98	2354.24	0	279.49	285.38	275.11
31	69.26	43.84	3.95	273.69	242.39	208.55	199.00	129.73	0	1529.59	1486.04	0	1591.21	1525.13	0	281.24	284.83	277.59
31.1	267.72	24.75	20.27	327.20	303.69	277.31	501.90	114.88	0	1891.54	1854.96	0	1560.44	1494.75	0	280.32	285.51	275.77
31.2	262.59	19.90	18.53	302.81	279.71	253.81	508.03	98.83	0	1764.38	1727.83	0	1503.16	1437.47	0	280.39	285.41	275.91
1.1	29.25	31.00	3.22	97.27	78.26	60.31	192.09	121.72	0	506.28	455.03	0	1103.14	1011.18	0	278.41	280.89	277.10
1.2	22.03	27.89	2.94	79.75	64.46	49.46	177.10	109.23	0	412.36	365.06	0	878.73	767.81	0	277.15	279.06	276.12
2.2	74.52	6.47	5.82	256.37	219.15	179.42	180.64	33.32	0	1405.70	1371.33	0	1796.45	1719.45	0	286.31	286.75	285.45
2.3	60.52	6.08	5.46	245.77	208.14	167.74	65.51	17.91	0	1330.66	1295.15	0	1467.05	1376.65	0	286.49	286.80	285.96
6.1	163.25	45.03	10.26	148.86	120.87	92.15	209.37	136.46	0	808.09	755.29	0	864.81	743.41	0	281.71	283.19	280.81
6.2	130.02	39.58	8.81	117.08	93.23	68.61	198.82	129.09	0	609.70	558.27	0	611.89	473.06	0	281.14	282.35	280.40
7.2	254.69	16.40	18.00	311.17	274.17	233.90	346.81	58.34	0	1758.74	1722.45	0	1550.43	1486.87	0	285.84	286.69	284.04
7.3	196.91	11.05	15.94	298.92	261.06	220.14	192.58	40.59	0	1671.51	1634.53	0	1417.50	1338.30	0	286.19	286.74	284.98
25.1	93.76	49.26	4.74	177.31	145.80	112.36	367.17	305.30	0	948.66	909.14	0	2395.03	2331.73	0	279.48	285.38	275.12
25.2	77.89	42.20	4.52	133.67	104.88	75.07	292.21	220.84	0	670.38	625.48	0	1710.72	1643.24	0	278.50	284.08	275.13
31.3	240.77	16.26	14.81	250.21	226.92	201.35	398.60	94.51	0	1428.36	1390.43	0	1328.94	1262.40	0	280.60	284.53	277.28
31.4	208.37	13.41	18.24	209.46	185.56	159.56	304.36	84.05	0	1192.26	1149.22	0	1087.22	1002.16	0	280.77	283.56	278.37
1.3	30.20	28.60	3.40	97.16	78.13	60.04	181.56	113.28	0	506.40	457.19	0	1101.03	1009.04	0	278.41	280.87	277.10
1.4	30.53	31.46	3.24	119.87	95.60	74.39	202.14	132.26	0	649.14	601.17	0	1441.28	1378.07	0	279.40	282.22	278.05
2.4	117.35	7.76	5.74	281.74	246.16	207.78	380.62	67.36	0	1574.53	1539.61	0	2766.80	2709.96	0	285.88	286.61	284.25
2.5	93.44	7.16	5.92	265.10	228.69	189.40	242.55	44.06	0	1463.83	1430.12	0	2125.00	2060.53	0	286.16	286.69	285.03

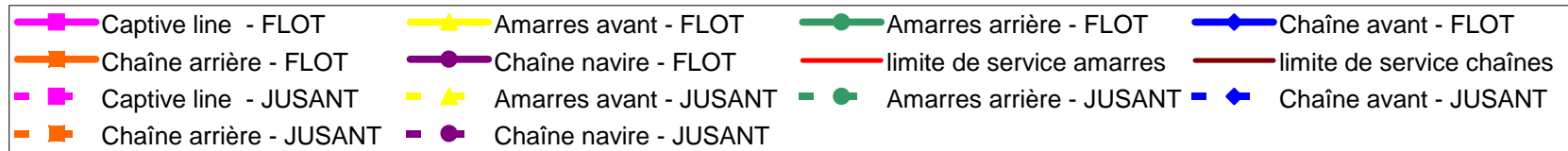
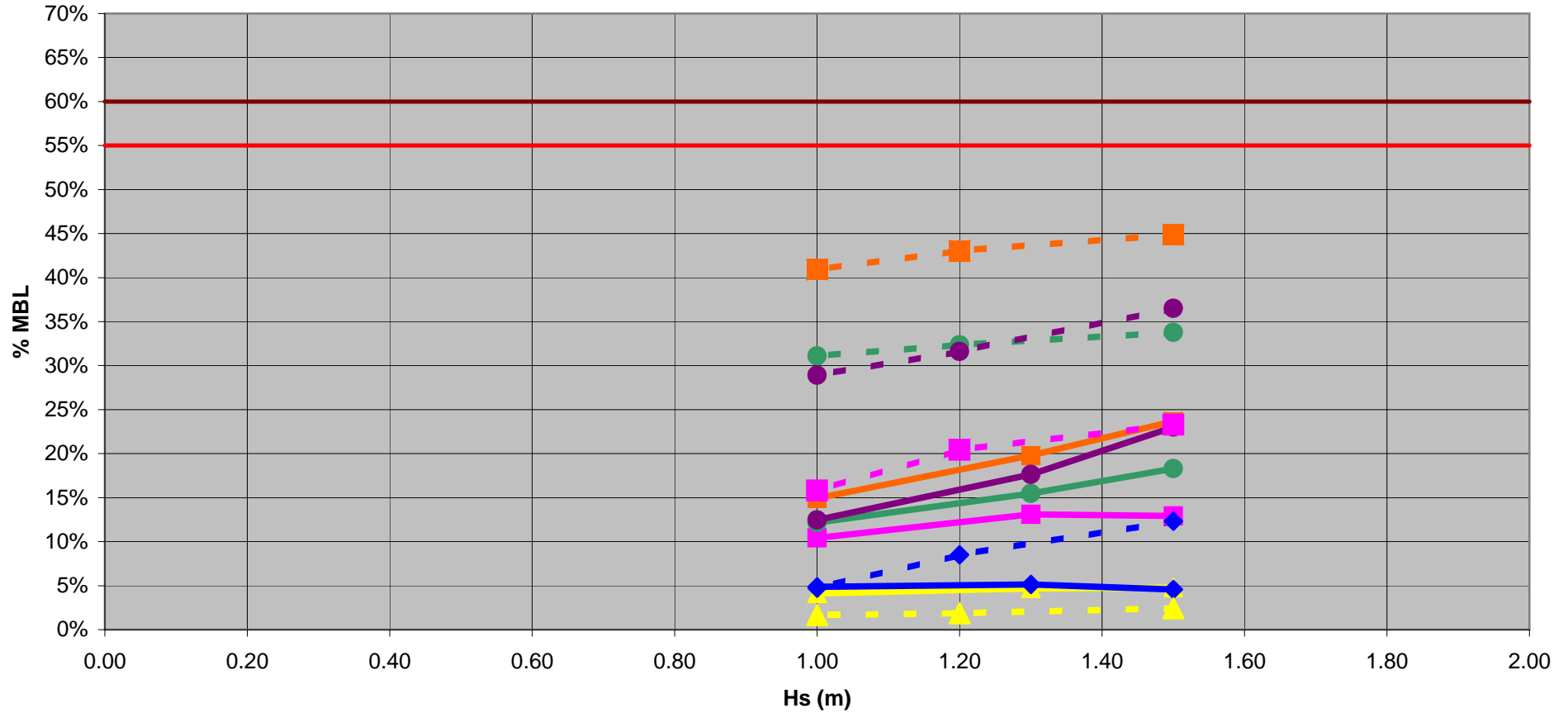
### Conditions de Nord Ouest - Pleine Charge



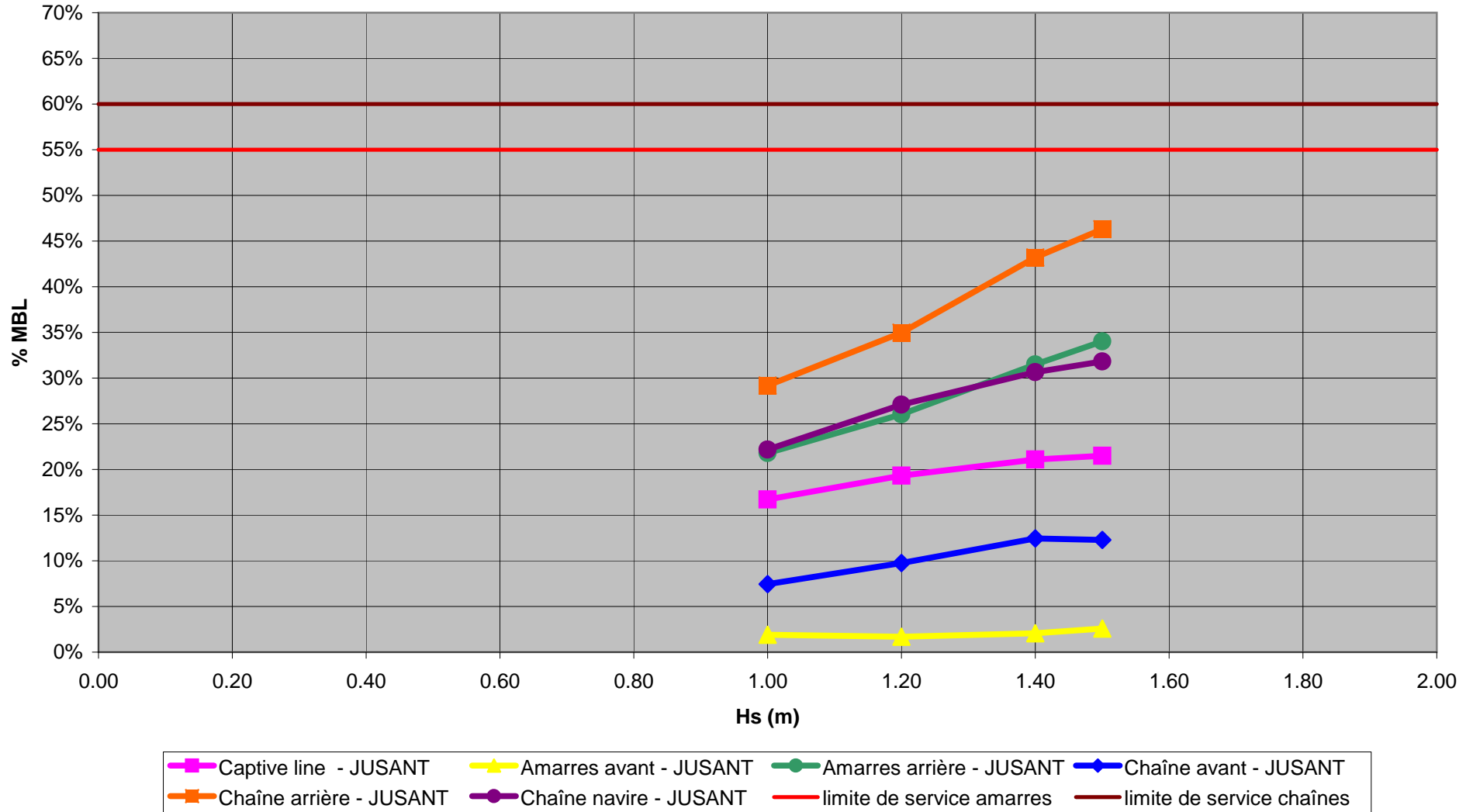
### Conditions de Nord Ouest - Mi-Charge



### Conditions de Nord Est - Pleine Charge



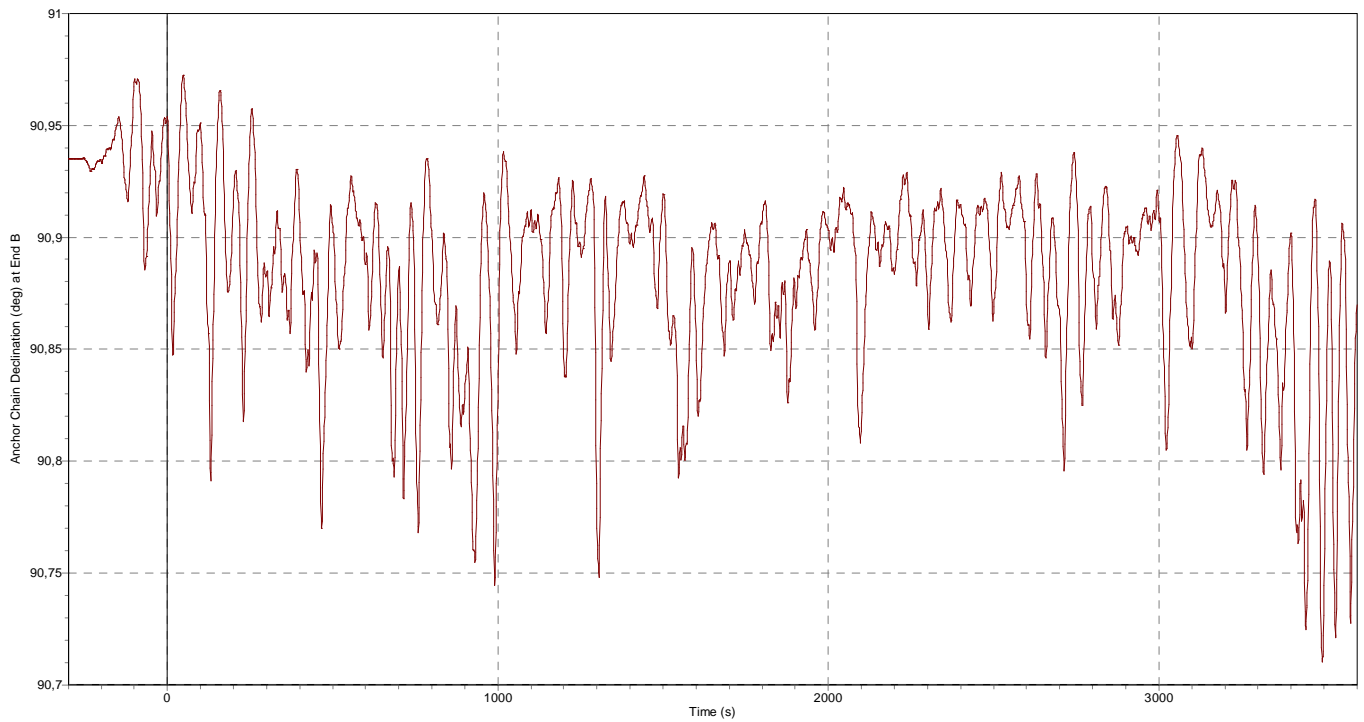
### Conditions de Nord Est - Mi-Charge



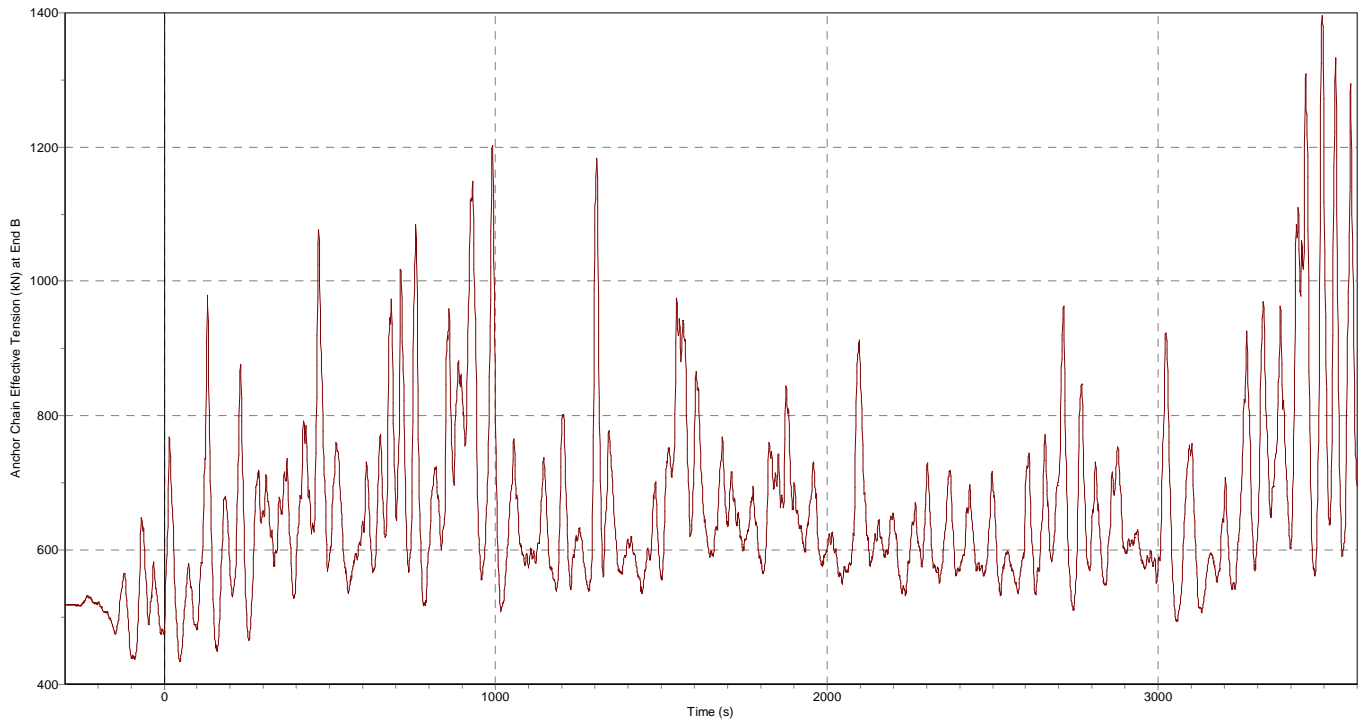
**SORTIES ORCAFLEX CONCERNANT LA CHAÎNE D'ANCRAGE ET L'ANCRE DU NAVIRE**

## Case 1

OrcaFlex 9.3a: CASE1\_a.sim (modified 18.55 on 06/06/2010 by OrcaFlex 9.3a)  
Time History: Anchor Chain Declination at End B

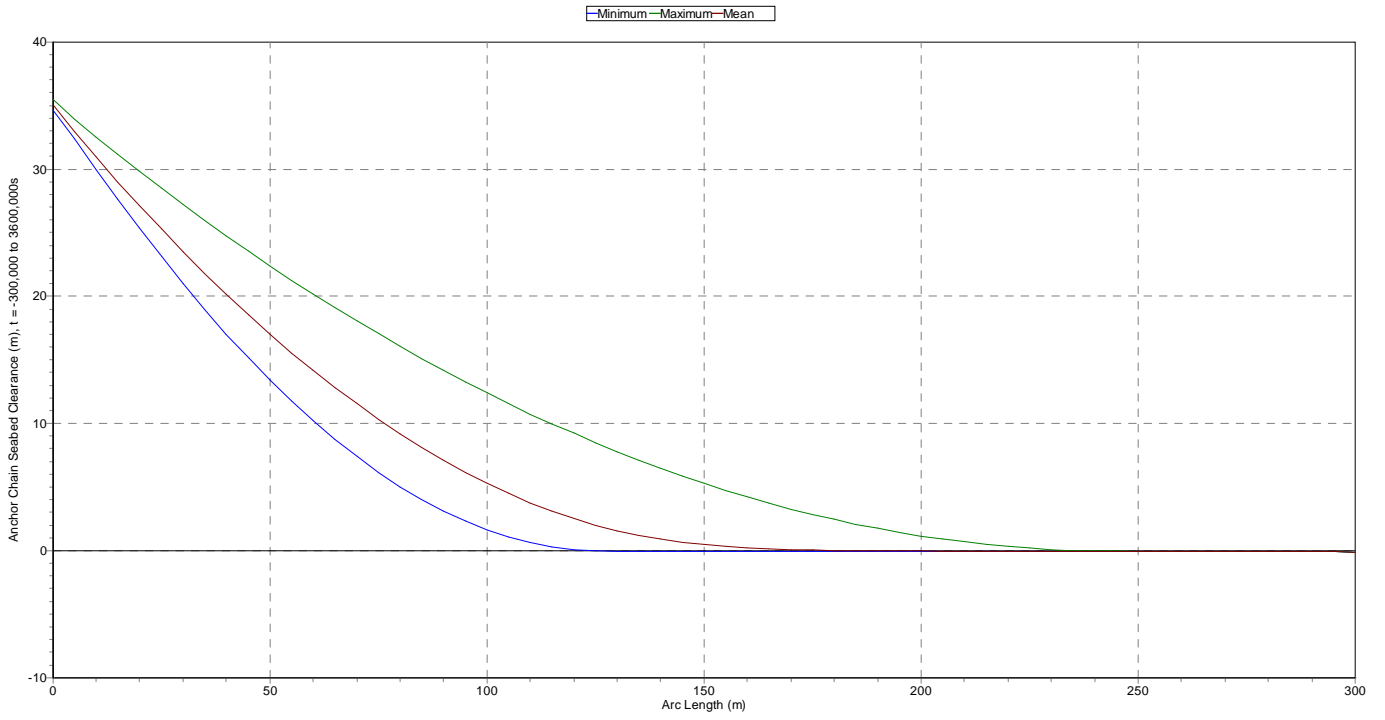


OrcaFlex 9.3a: CASE1\_a.sim (modified 18.55 on 06/06/2010 by OrcaFlex 9.3a)  
Time History: Anchor Chain Effective Tension at End B



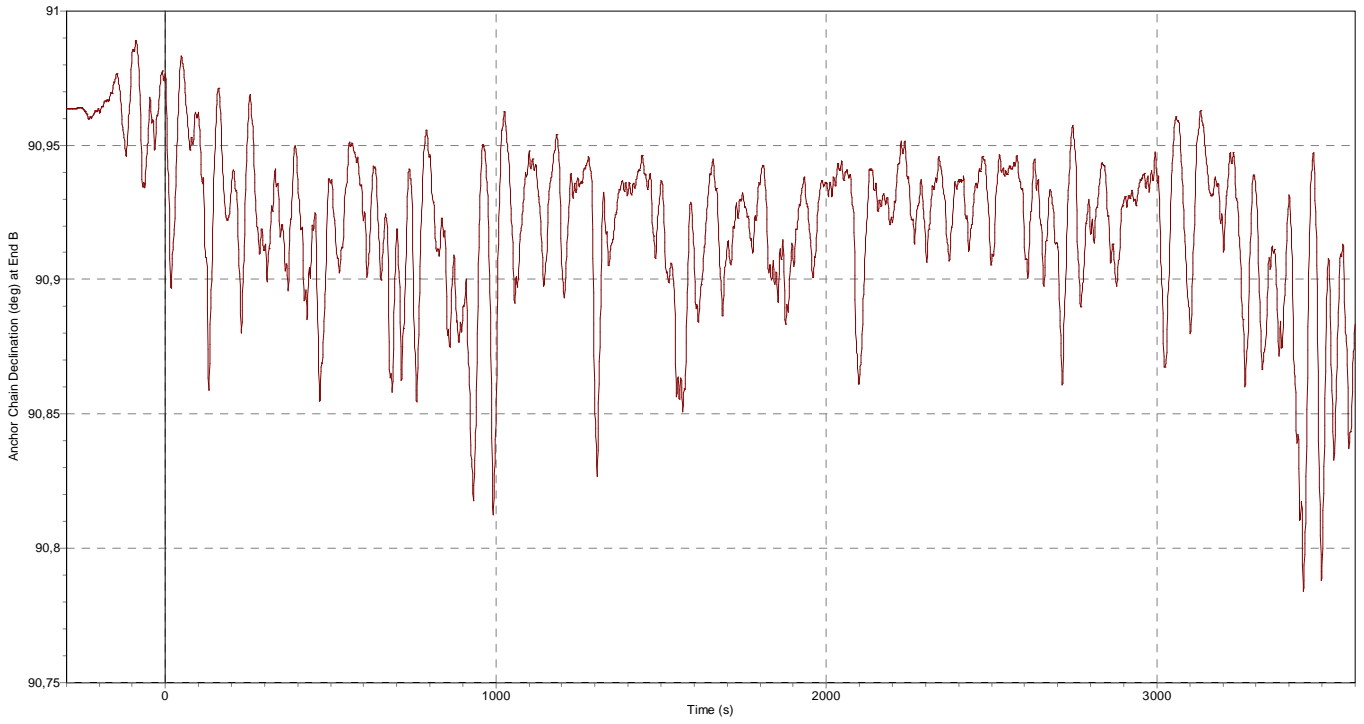
# ANNEXE 3

OrcaFlex 9.3a: CASE1\_a.sim (modified 18.55 on 06/06/2010 by OrcaFlex 9.3a)  
Range Graph: Anchor Chain Seabed Clearance, over Whole Simulation

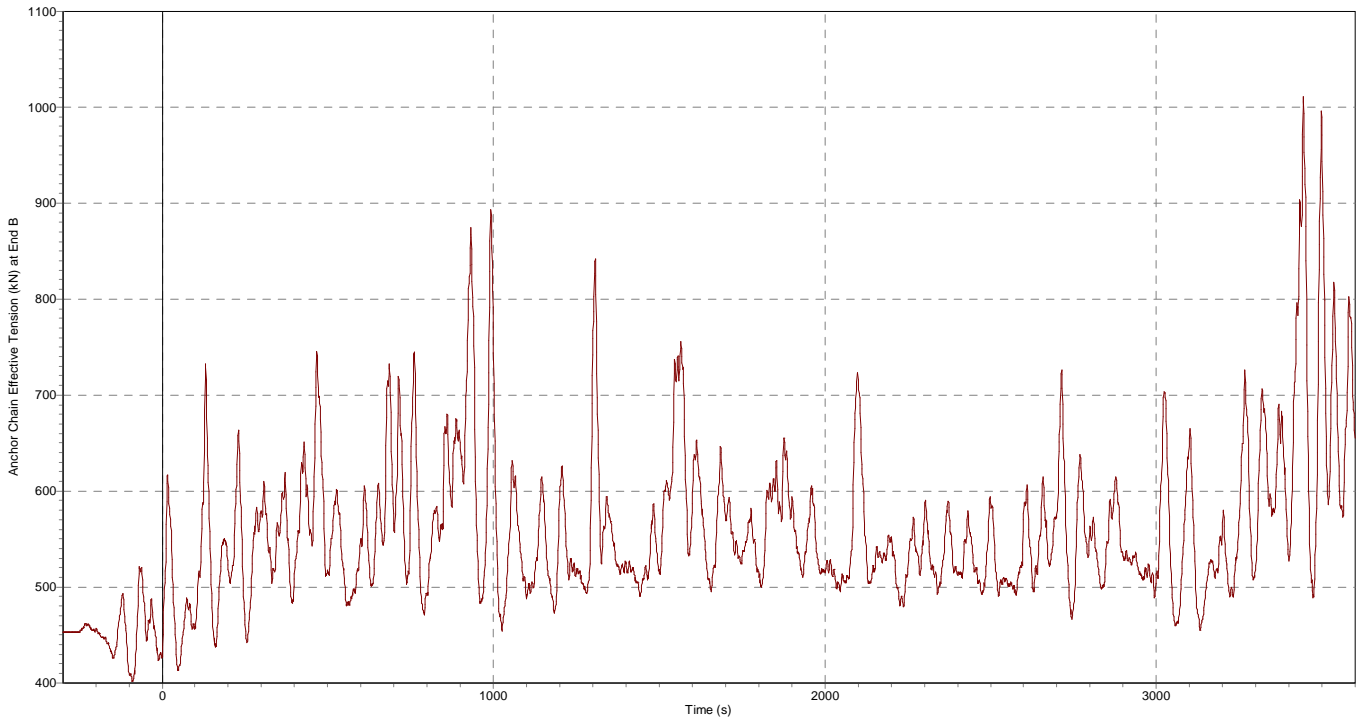


Case 1.1

OrcaFlex 9.3a: CASE1.1\_a.sim (modified 15.48 on 06/06/2010 by OrcaFlex 9.3a)  
Time History: Anchor Chain Declination at End B



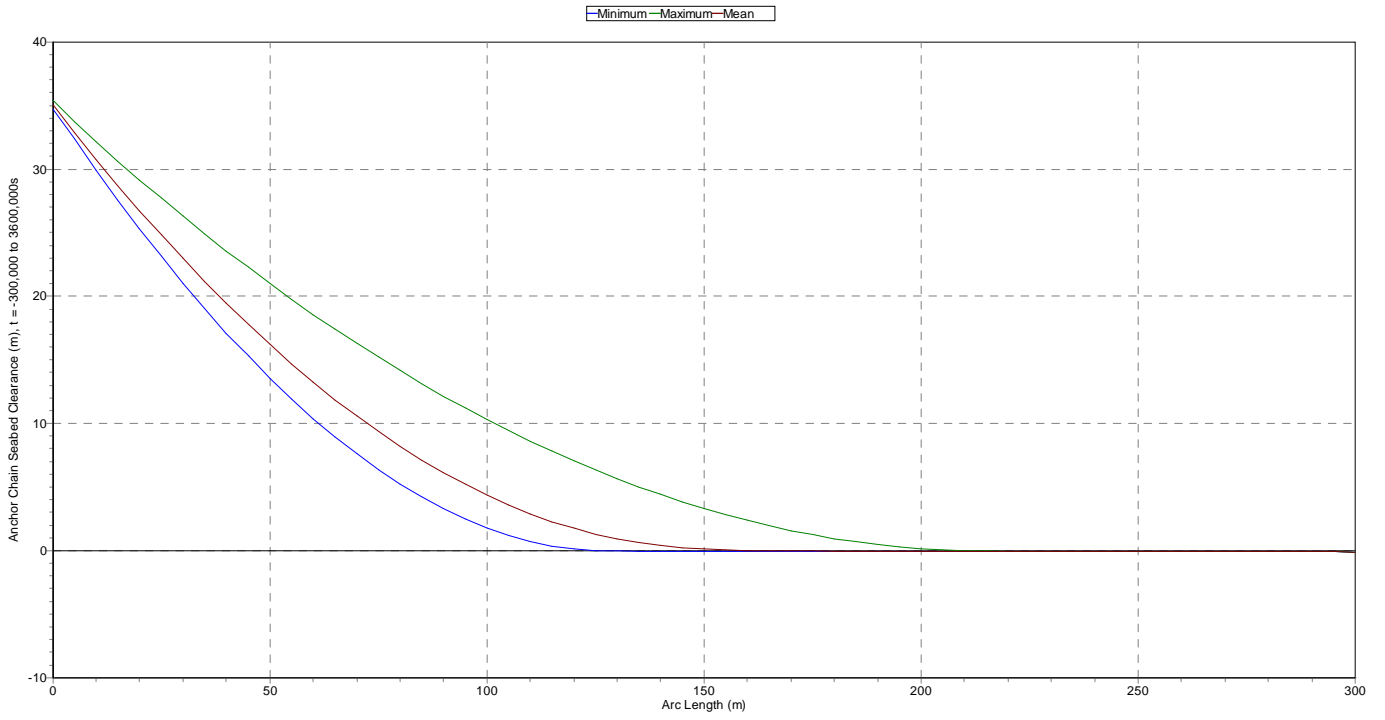
OrcaFlex 9.3a: CASE1.1\_a.sim (modified 15.48 on 06/06/2010 by OrcaFlex 9.3a)  
Time History: Anchor Chain Effective Tension at End B





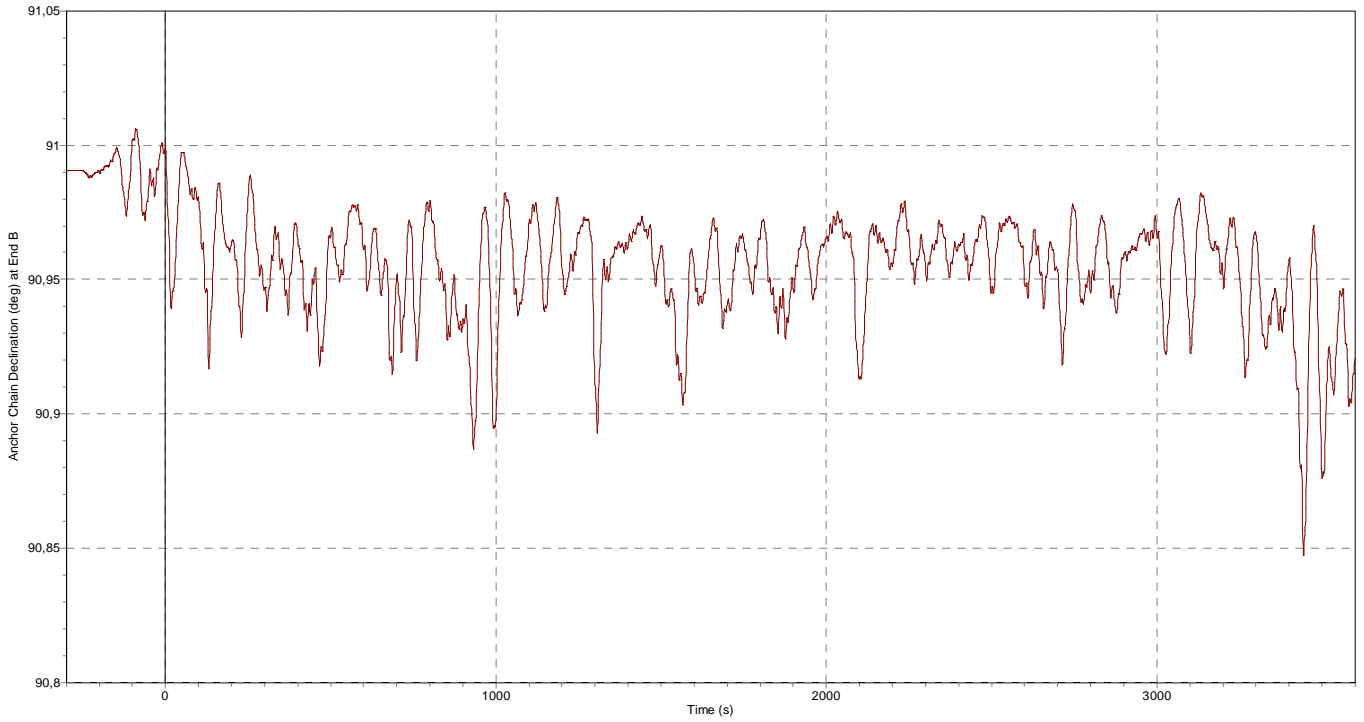
# ANNEXE 3

OrcaFlex 9.3a: CASE1.1\_a.sim (modified 15.48 on 06/06/2010 by OrcaFlex 9.3a)  
Range Graph: Anchor Chain Seabed Clearance, over Whole Simulation

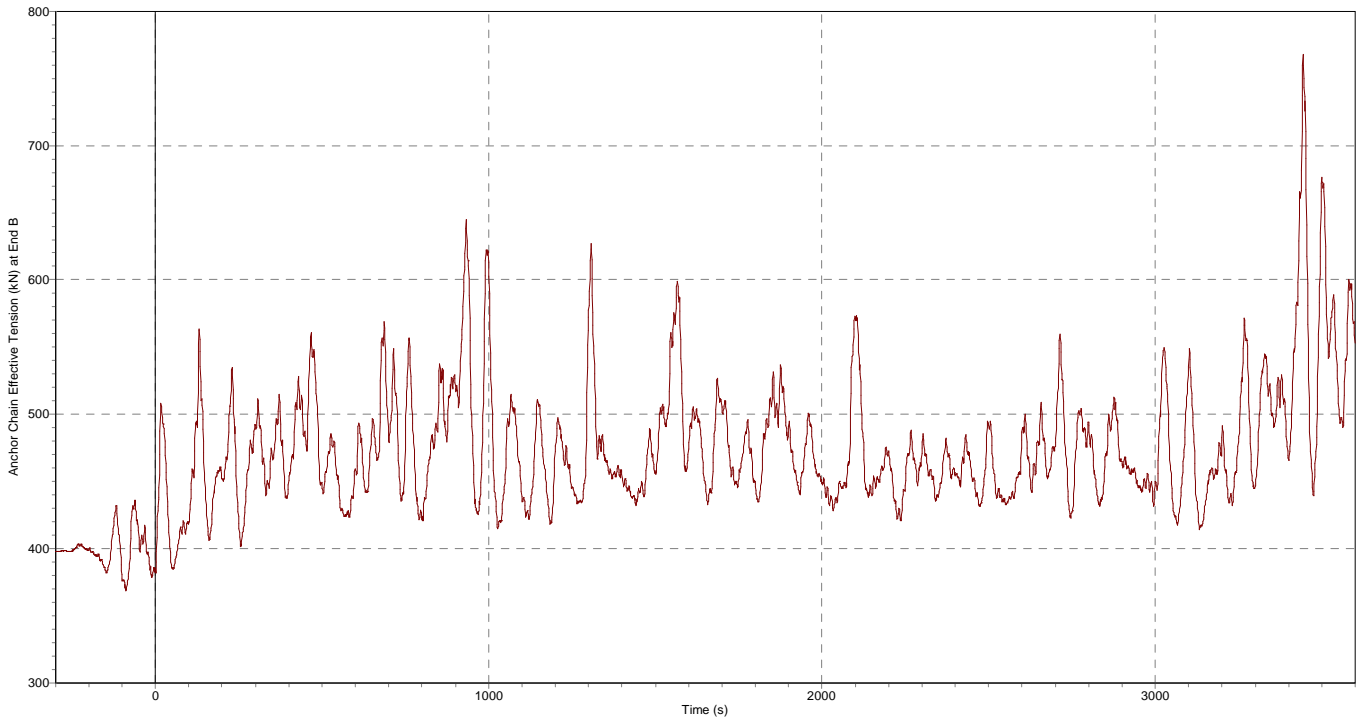


Case 1.2

OrcaFlex 9.3a: CASE1.2\_a.sim (modified 15.50 on 06/06/2010 by OrcaFlex 9.3a)  
Time History: Anchor Chain Declination at End B

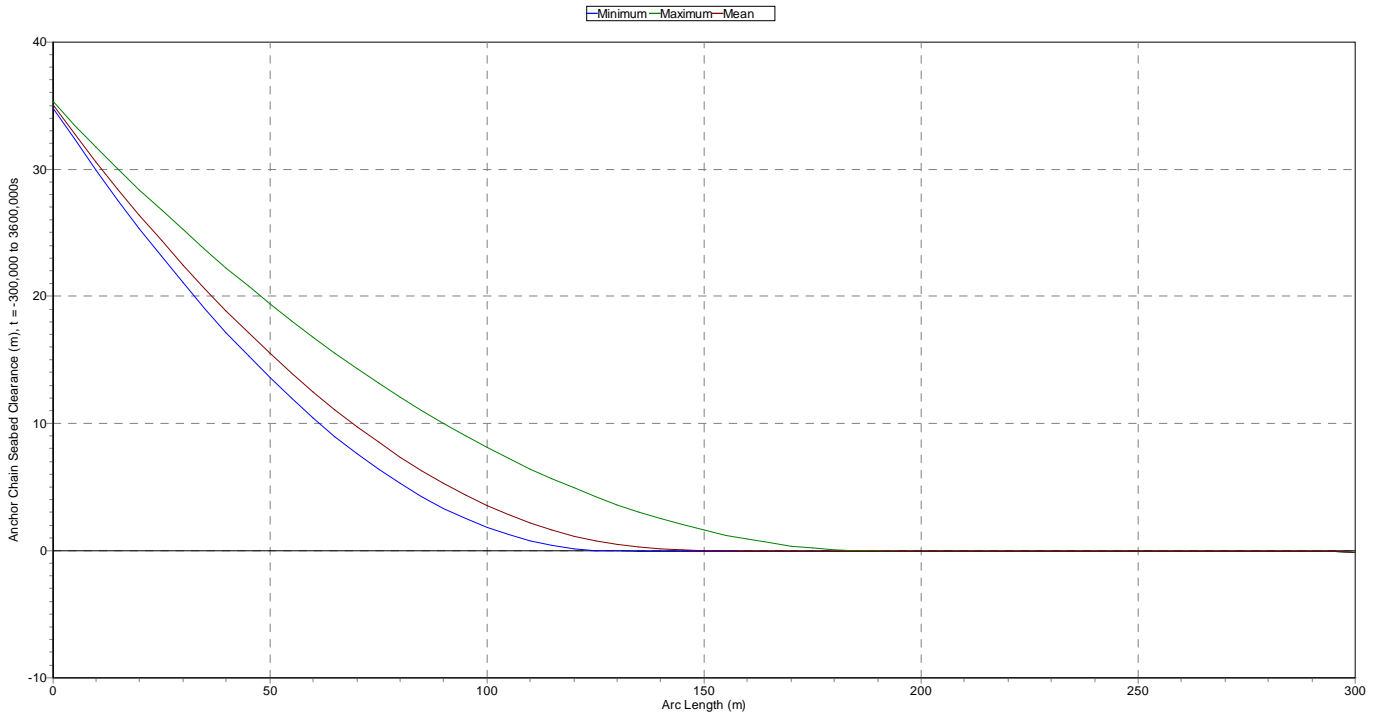


OrcaFlex 9.3a: CASE1.2\_a.sim (modified 15.50 on 06/06/2010 by OrcaFlex 9.3a)  
Time History: Anchor Chain Effective Tension at End B



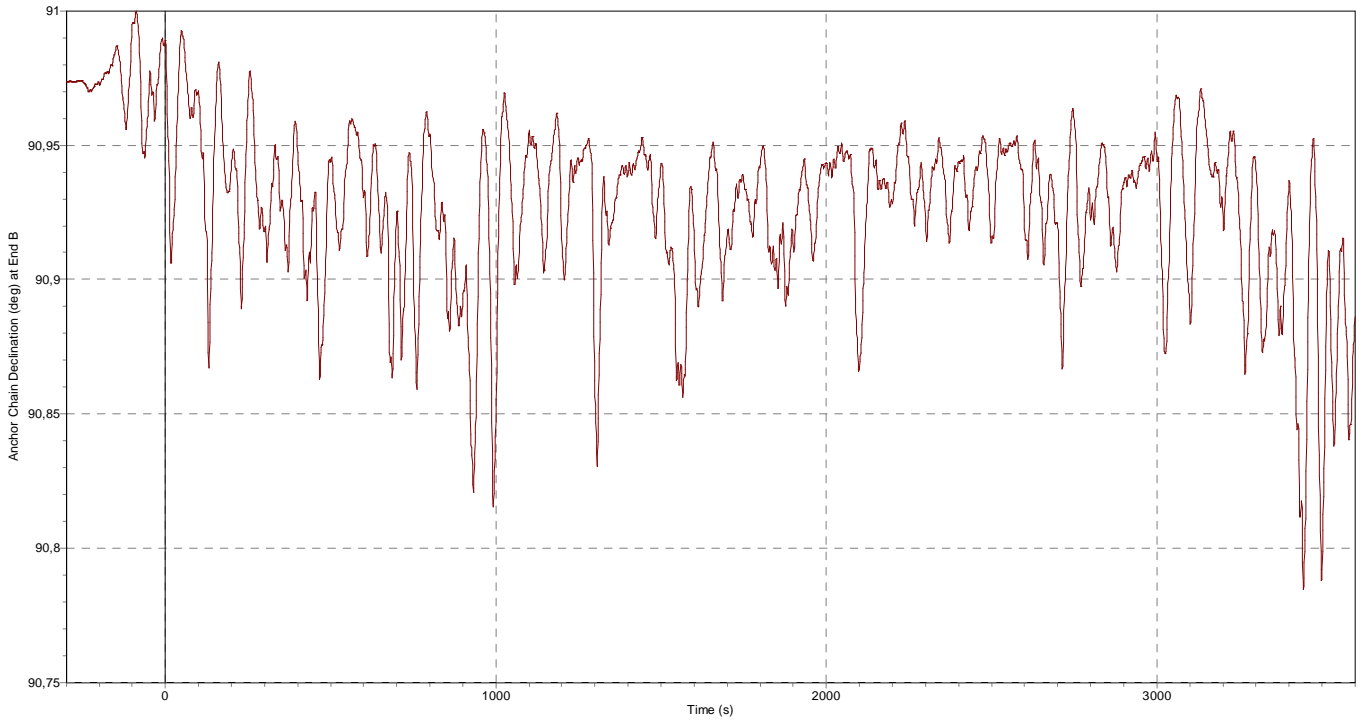
# ANNEXE 3

OrcaFlex 9.3a: CASE1.2\_a\_sim (modified 15.50 on 06/06/2010 by OrcaFlex 9.3a)  
Range Graph: Anchor Chain Seabed Clearance, over Whole Simulation

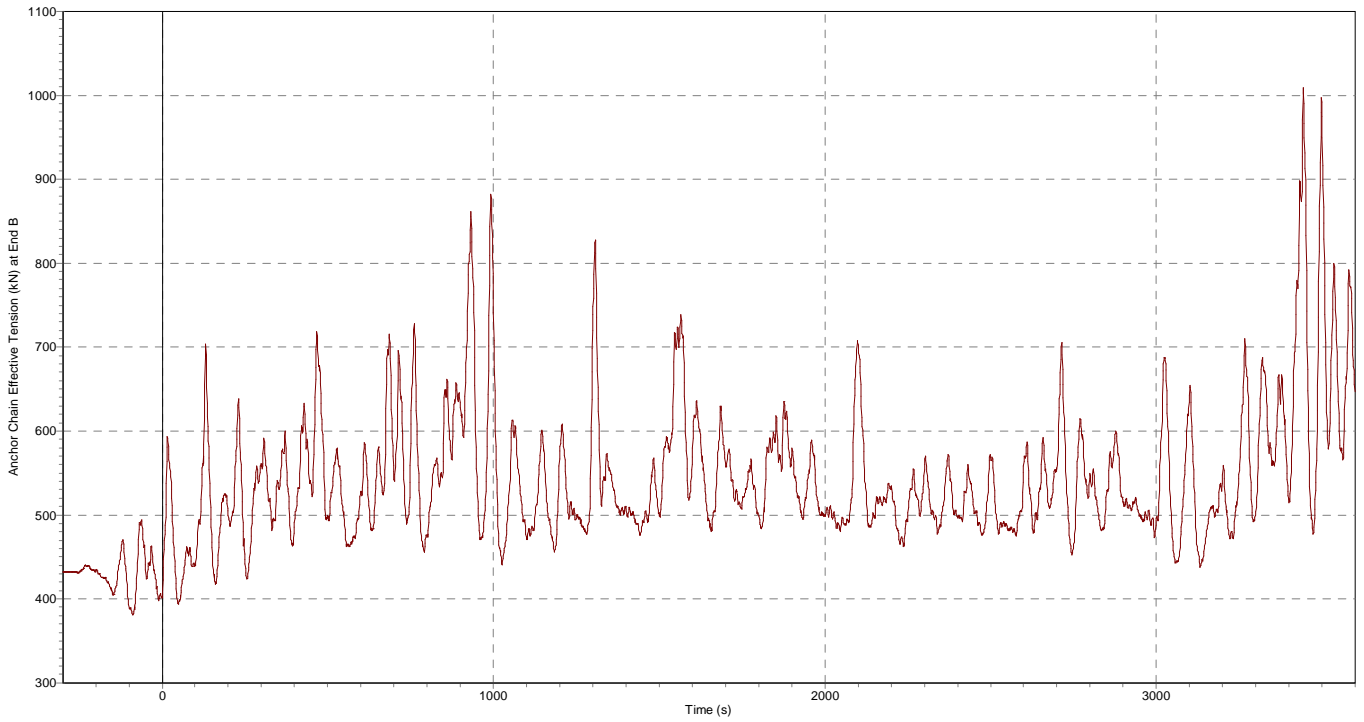


Case 1.3

OrcaFlex 9.3a: CASE1.3\_a.sim (modified 17.22 on 06/06/2010 by OrcaFlex 9.3a)  
Time History: Anchor Chain Declination at End B

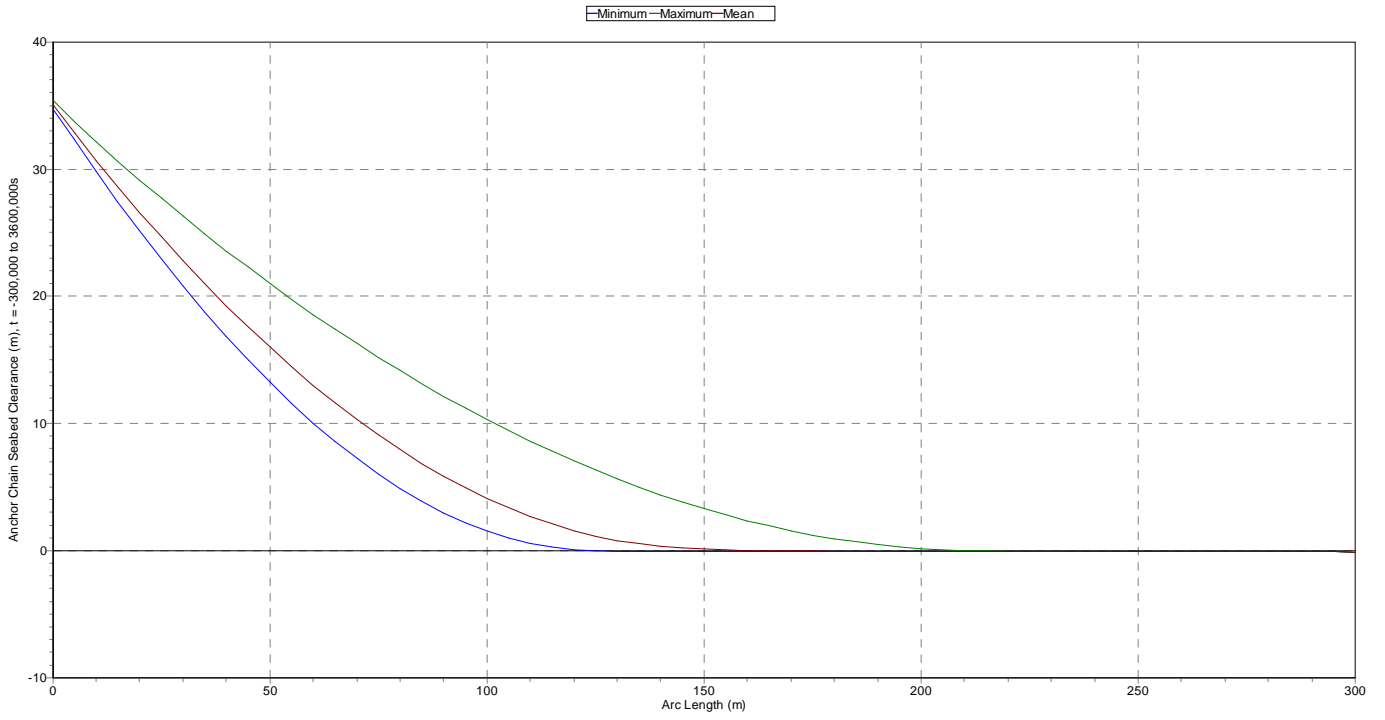


OrcaFlex 9.3a: CASE1.3\_a.sim (modified 17.22 on 06/06/2010 by OrcaFlex 9.3a)  
Time History: Anchor Chain Effective Tension at End B



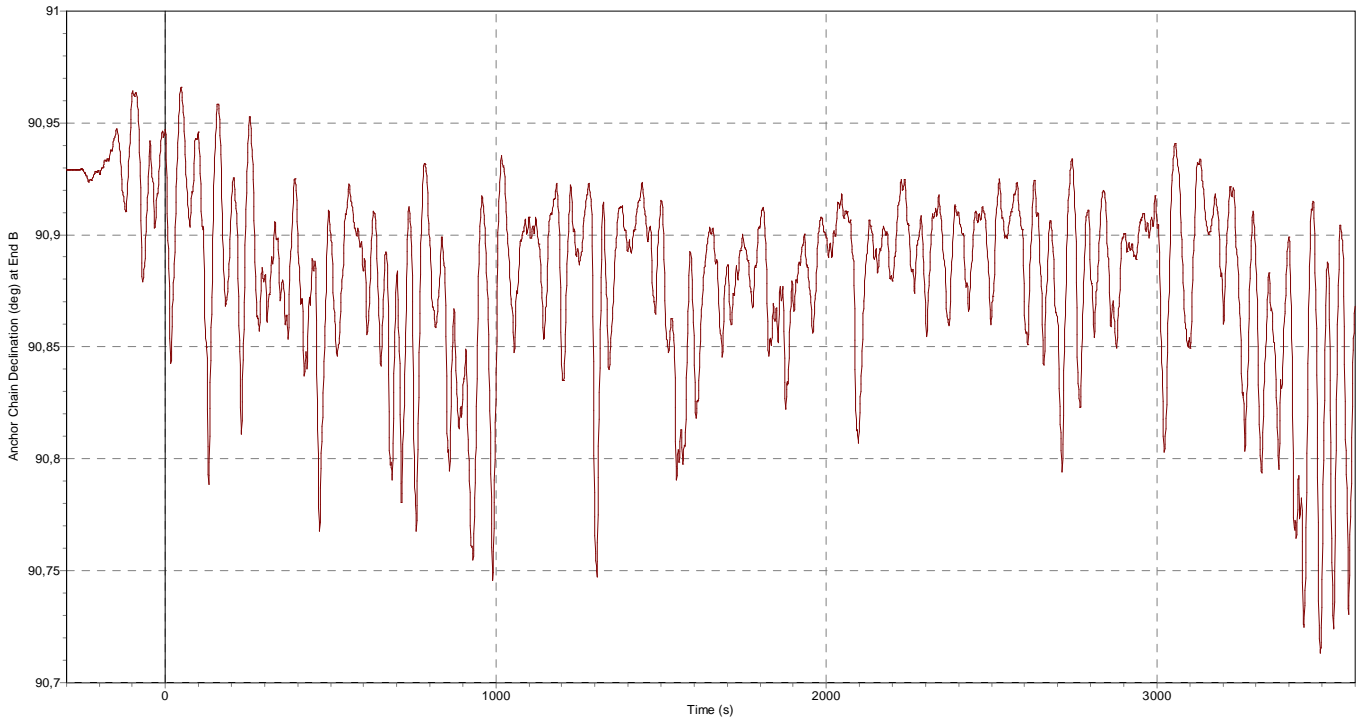
# ANNEXE 3

OrcaFlex 9.3a: CASE1.3\_a.sim (modified 17.22 on 06/06/2010 by OrcaFlex 9.3a)  
Range Graph: Anchor Chain Seabed Clearance, over Whole Simulation

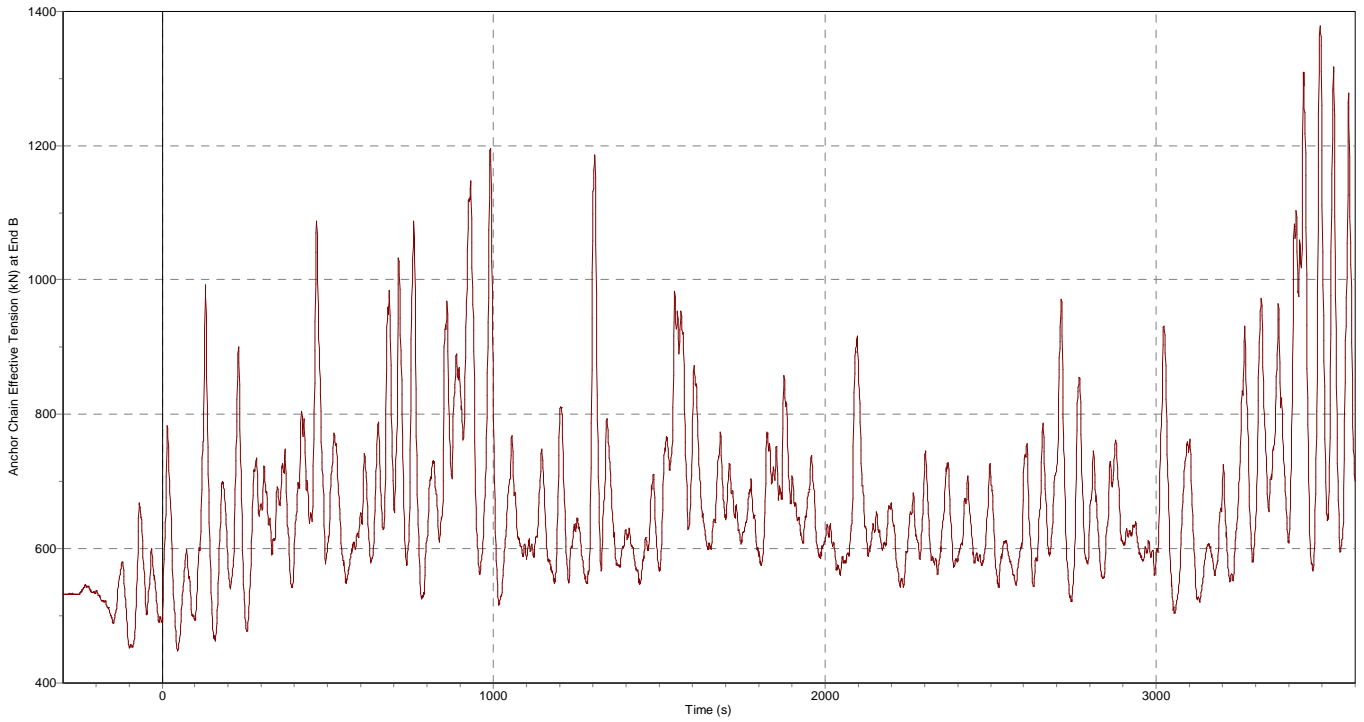


Case 1.4

OrcaFlex 9.3a: CASE1.4\_a.sim (modified 17.24 on 06/06/2010 by OrcaFlex 9.3a)  
Time History: Anchor Chain Declination at End B

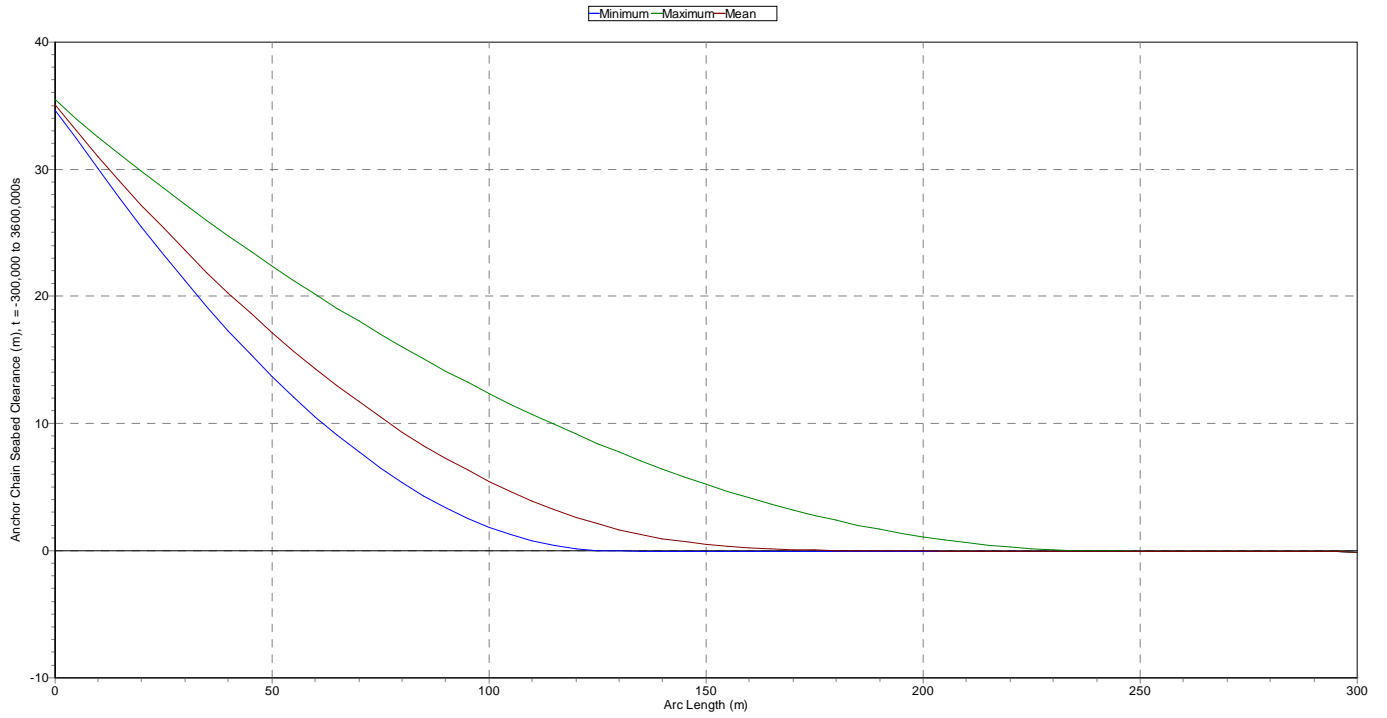


OrcaFlex 9.3a: CASE1.4\_a.sim (modified 17.24 on 06/06/2010 by OrcaFlex 9.3a)  
Time History: Anchor Chain Effective Tension at End B



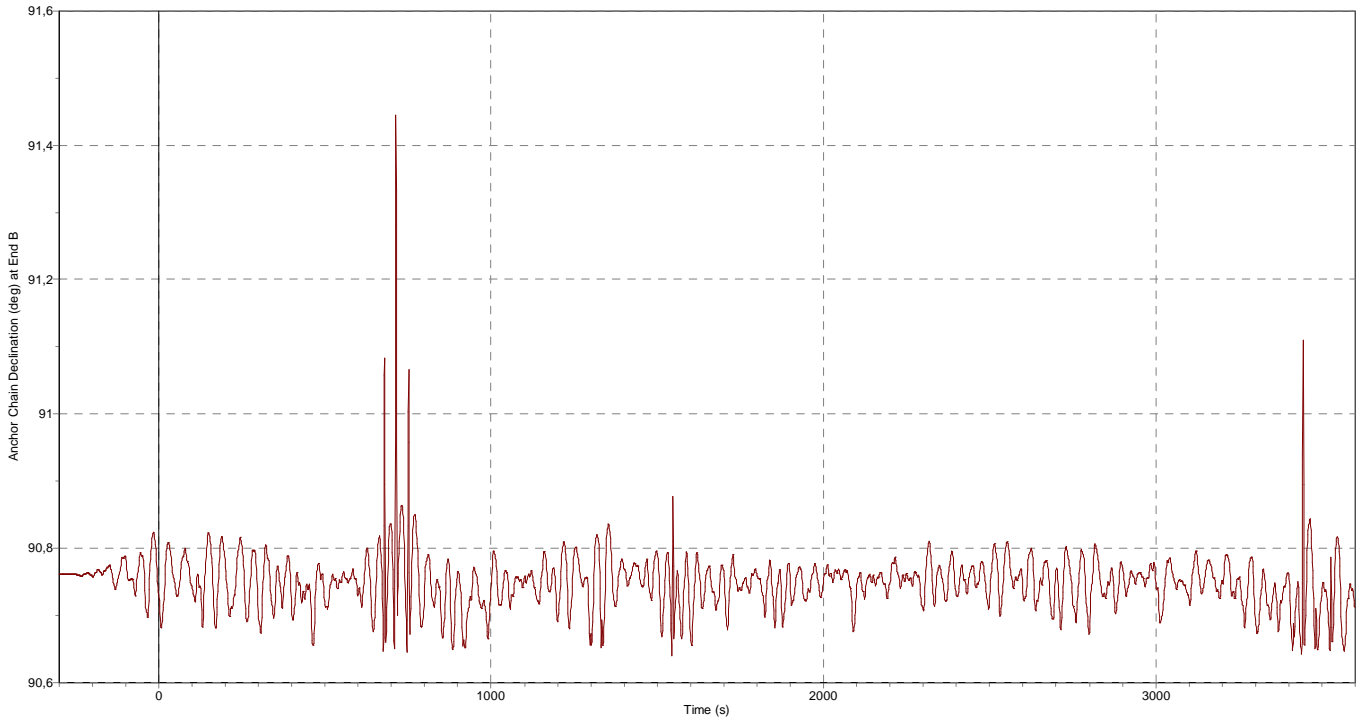
# ANNEXE 3

OrcaFlex 9.3a: CASE1.4\_a.sim (modified 17.24 on 06/06/2010 by OrcaFlex 9.3a)  
Range Graph: Anchor Chain Seabed Clearance, over Whole Simulation

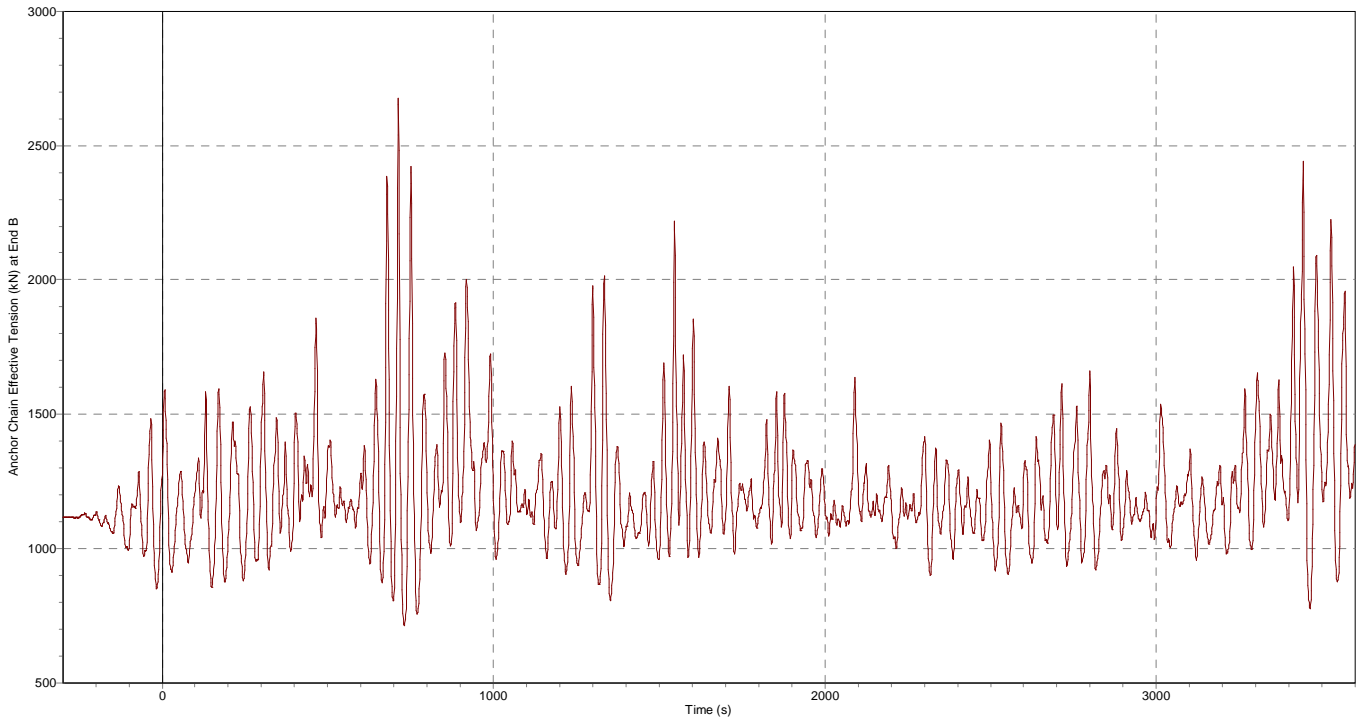


Case 2

OrcaFlex 9.3a: CASE2\_a.sim (modified 23.32 on 06/06/2010 by OrcaFlex 9.3a)  
Time History: Anchor Chain Declination at End B



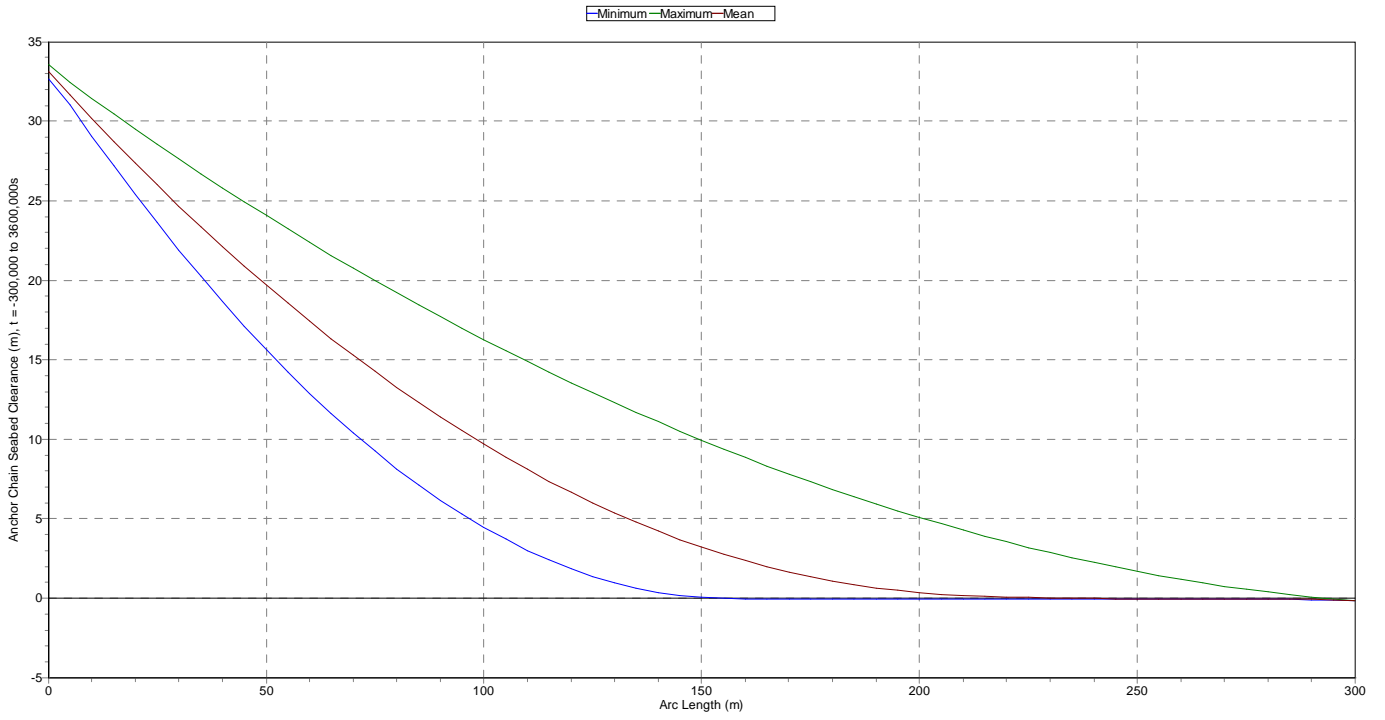
OrcaFlex 9.3a: CASE2\_a.sim (modified 23.32 on 06/06/2010 by OrcaFlex 9.3a)  
Time History: Anchor Chain Effective Tension at End B





# ANNEXE 3

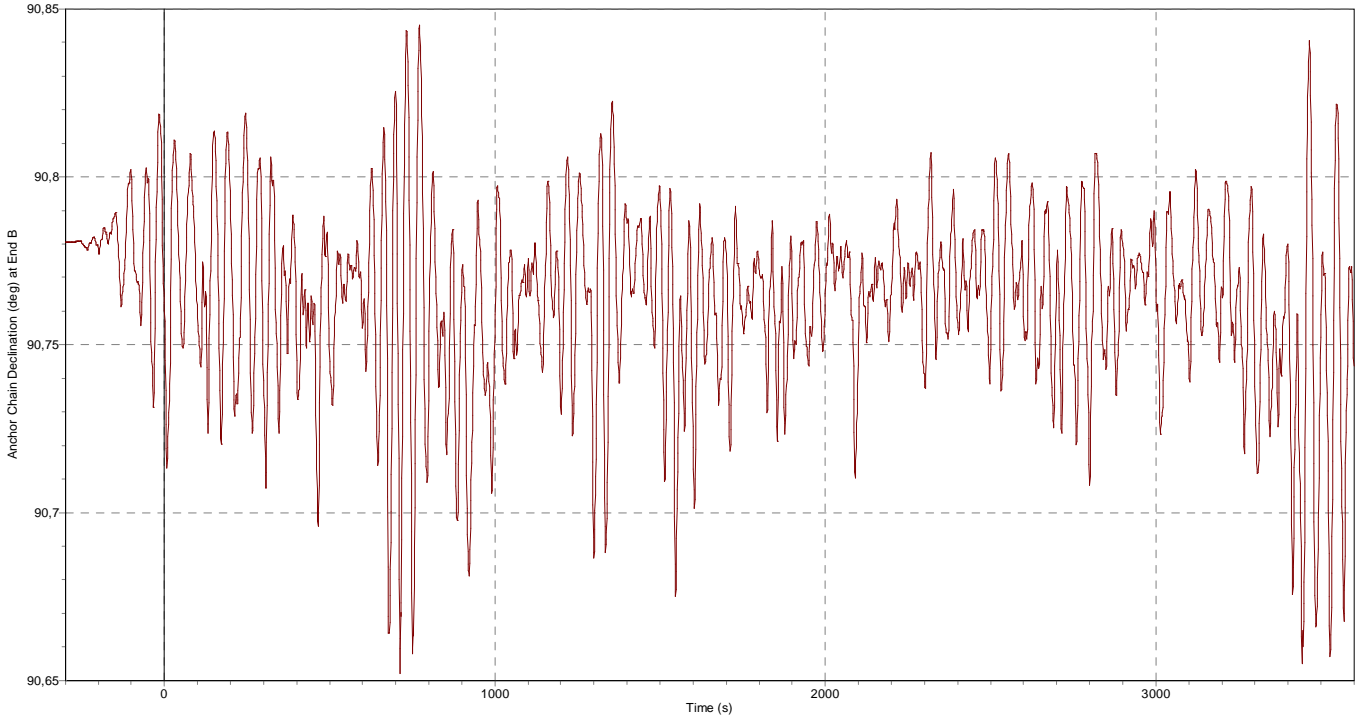
OrcaFlex 9.3a: CASE2\_a.sim (modified 23.32 on 06/06/2010 by OrcaFlex 9.3a)  
Range Graph: Anchor Chain Seabed Clearance, over Whole Simulation



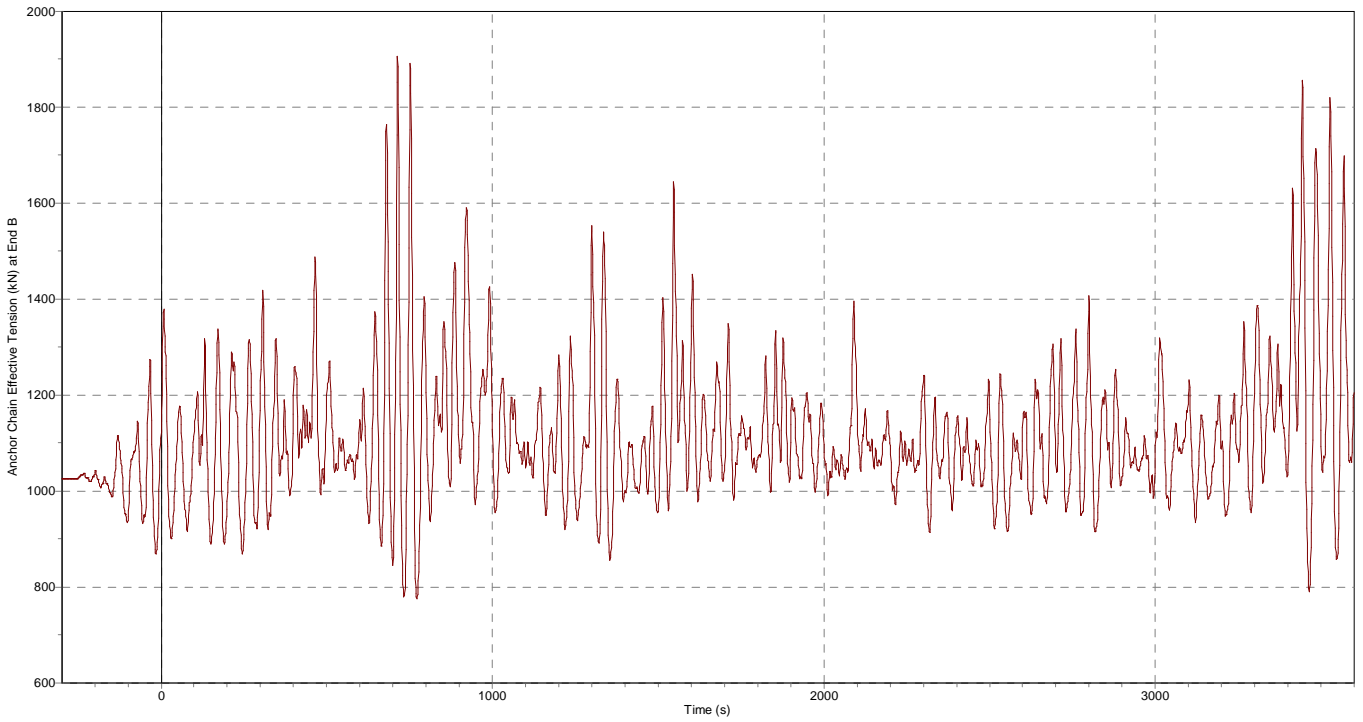
ANNEXE 3

Case 2.1

OrcaFlex 9.3a: CASE2.1\_a.sim (modified 18.56 on 06/06/2010 by OrcaFlex 9.3a)  
Time History: Anchor Chain Declination at End B

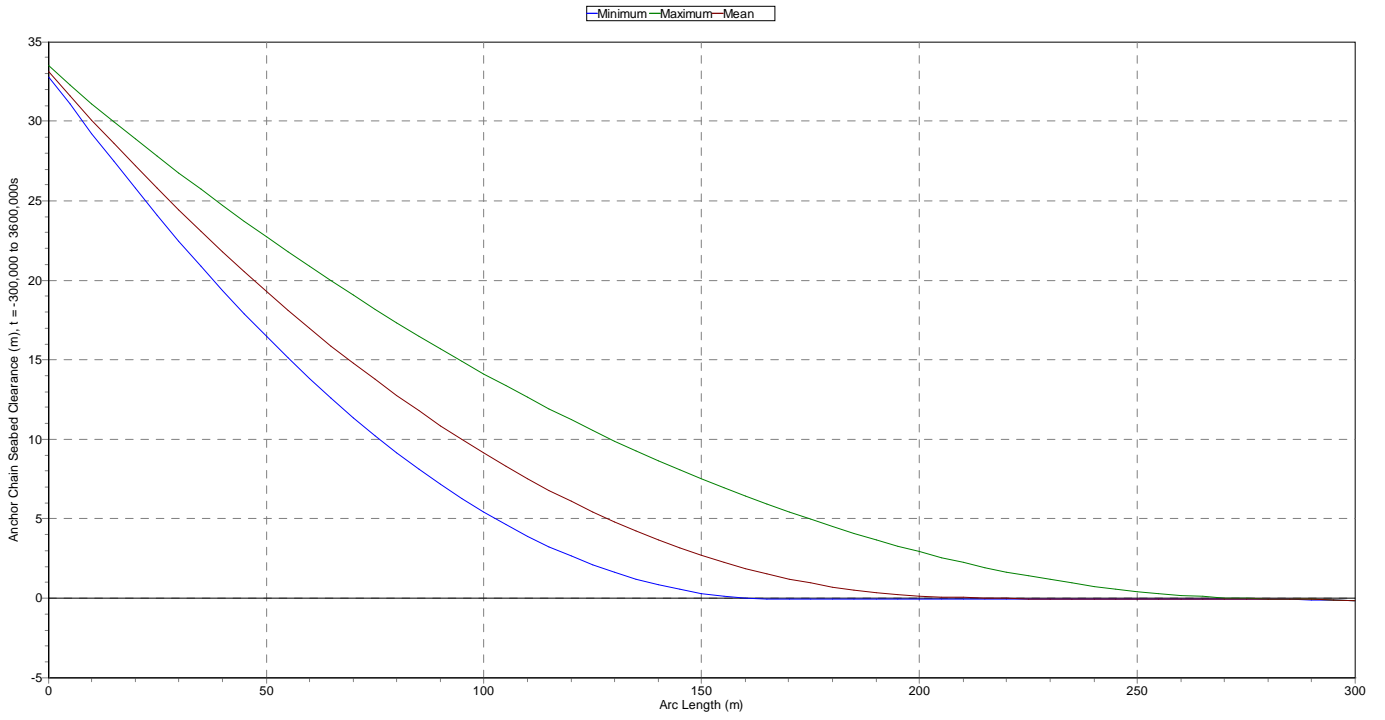


OrcaFlex 9.3a: CASE2.1\_a.sim (modified 18.56 on 06/06/2010 by OrcaFlex 9.3a)  
Time History: Anchor Chain Effective Tension at End B



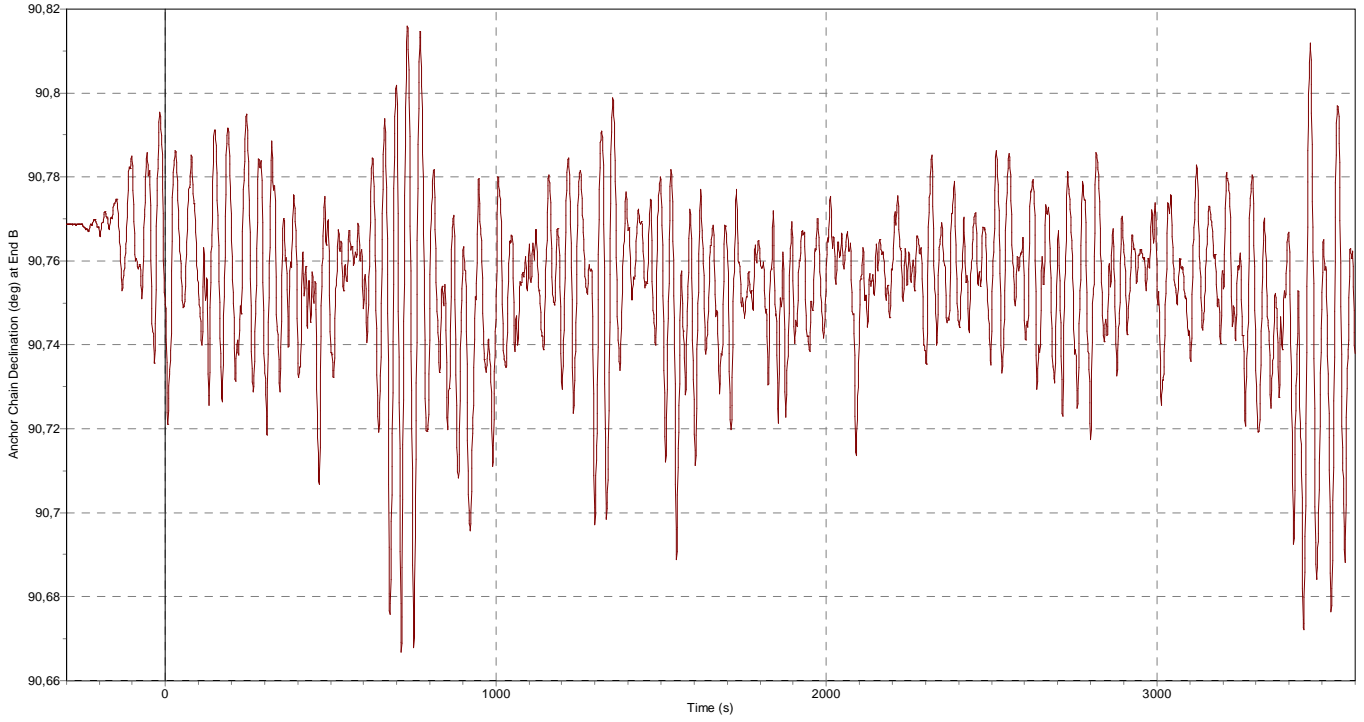
# ANNEXE 3

OrcaFlex 9.3a: CASE2.1\_a.sim (modified 18.56 on 06/06/2010 by OrcaFlex 9.3a)  
Range Graph: Anchor Chain Seabed Clearance, over Whole Simulation

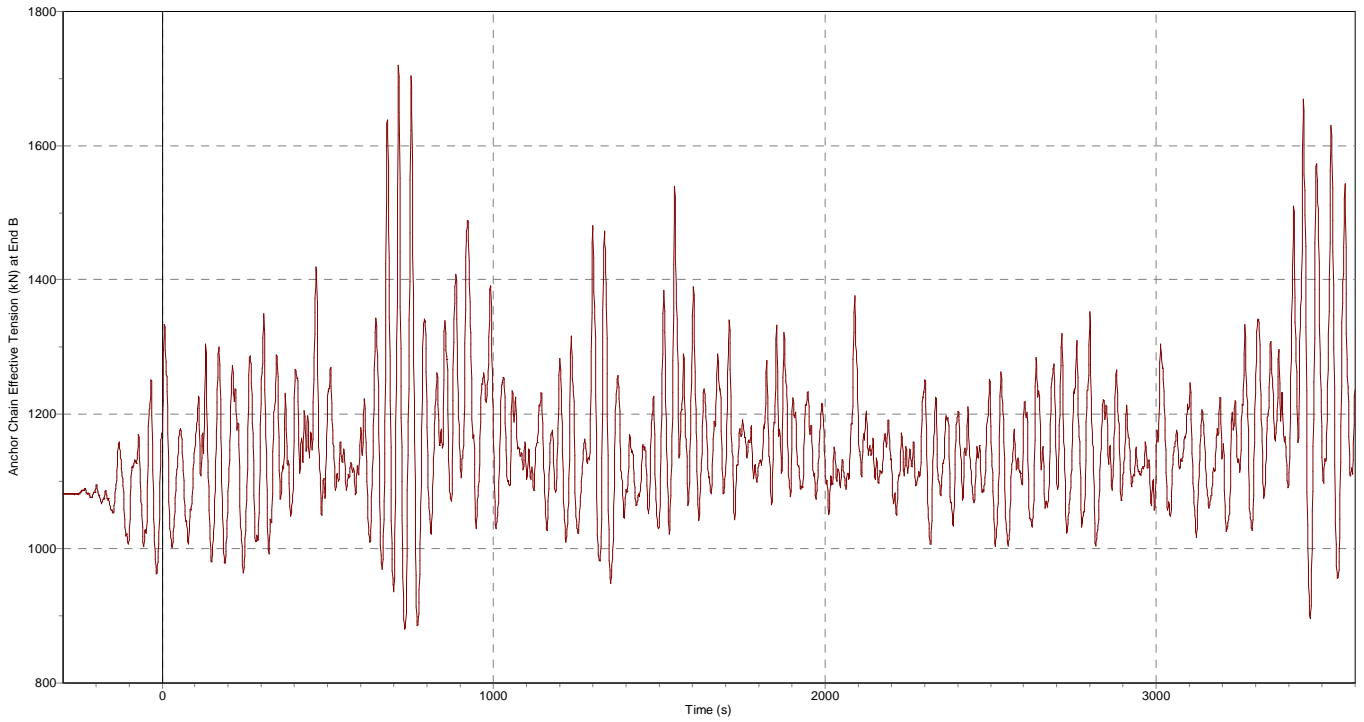


Case 2.2

OrcaFlex 9.3a: CASE2.2\_a.sim (modified 20.28 on 06/06/2010 by OrcaFlex 9.3a)  
Time History: Anchor Chain Declination at End B

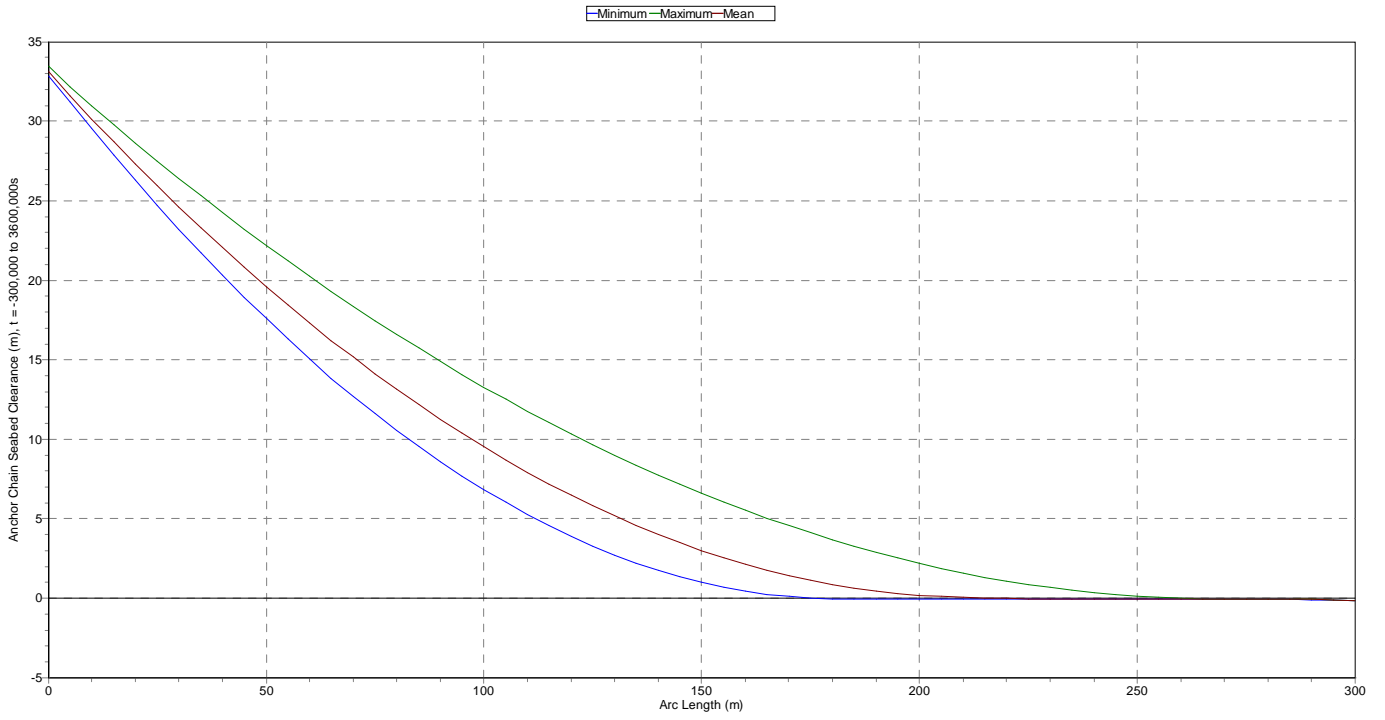


OrcaFlex 9.3a: CASE2.2\_a.sim (modified 20.28 on 06/06/2010 by OrcaFlex 9.3a)  
Time History: Anchor Chain Effective Tension at End B



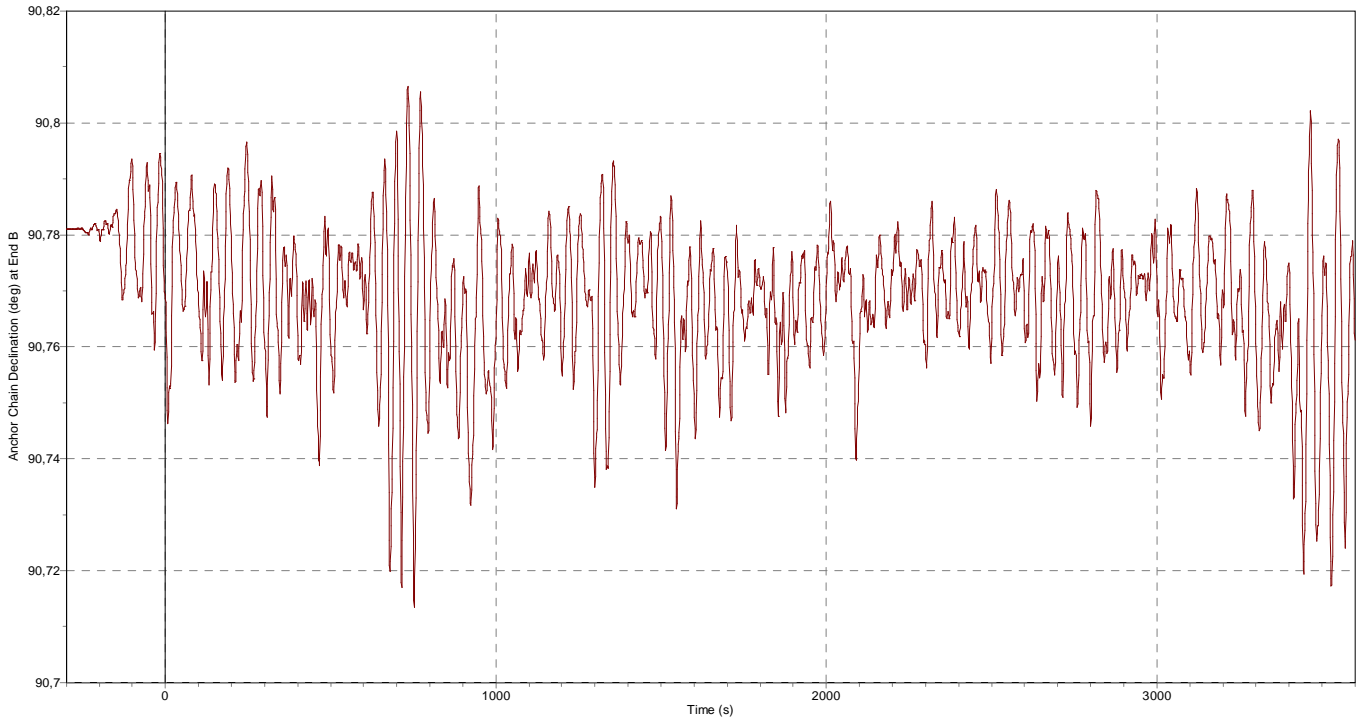
# ANNEXE 3

OrcaFlex 9.3a: CASE2.2\_a.sim (modified 20.28 on 06/06/2010 by OrcaFlex 9.3a)  
Range Graph: Anchor Chain Seabed Clearance, over Whole Simulation

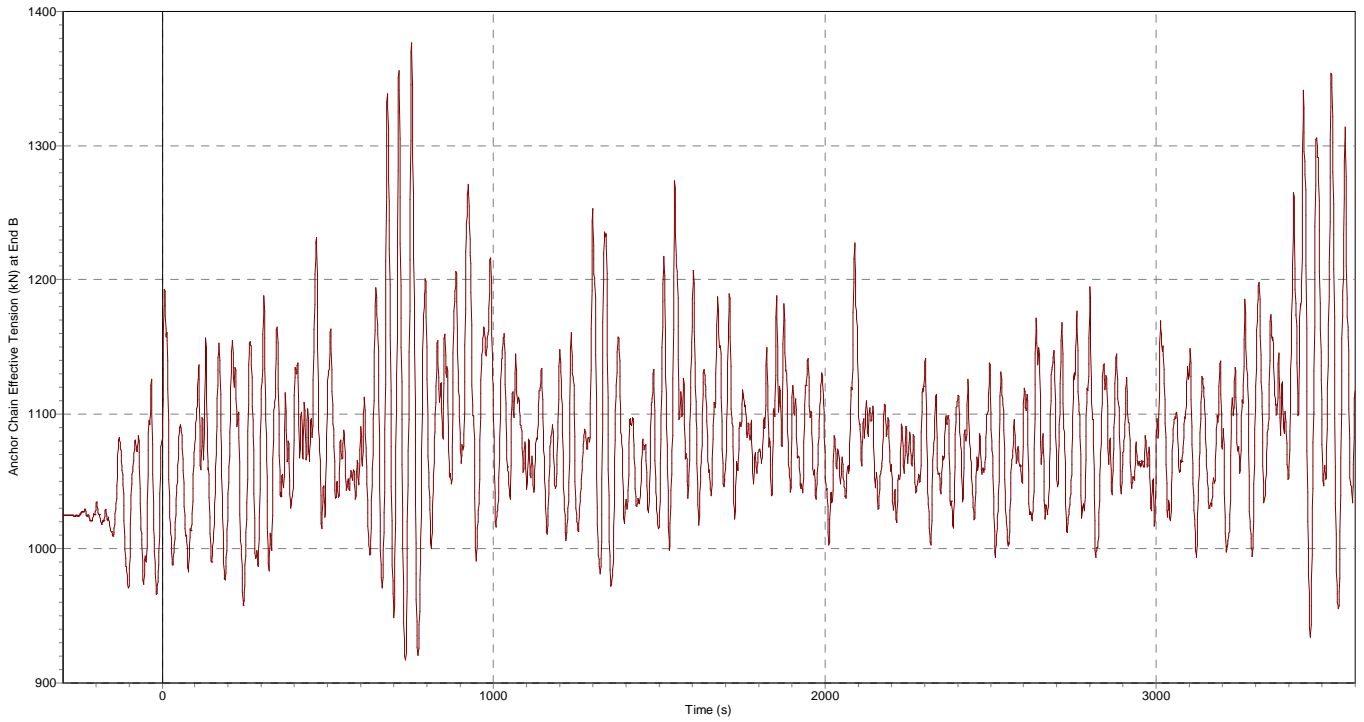


Case 2.3

OrcaFlex 9.3a: CASE2.3\_a.sim (modified 20.29 on 06/06/2010 by OrcaFlex 9.3a)  
Time History: Anchor Chain Declination at End B

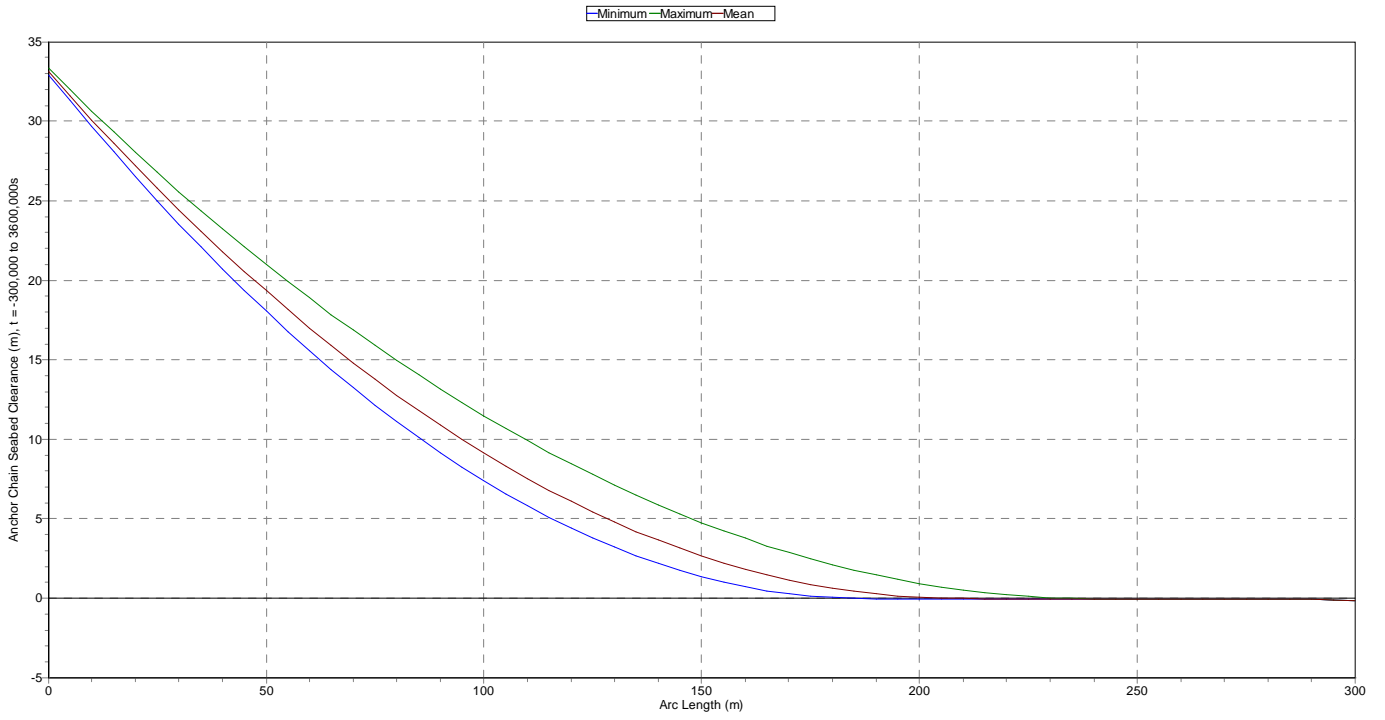


OrcaFlex 9.3a: CASE2.3\_a.sim (modified 20.29 on 06/06/2010 by OrcaFlex 9.3a)  
Time History: Anchor Chain Effective Tension at End B



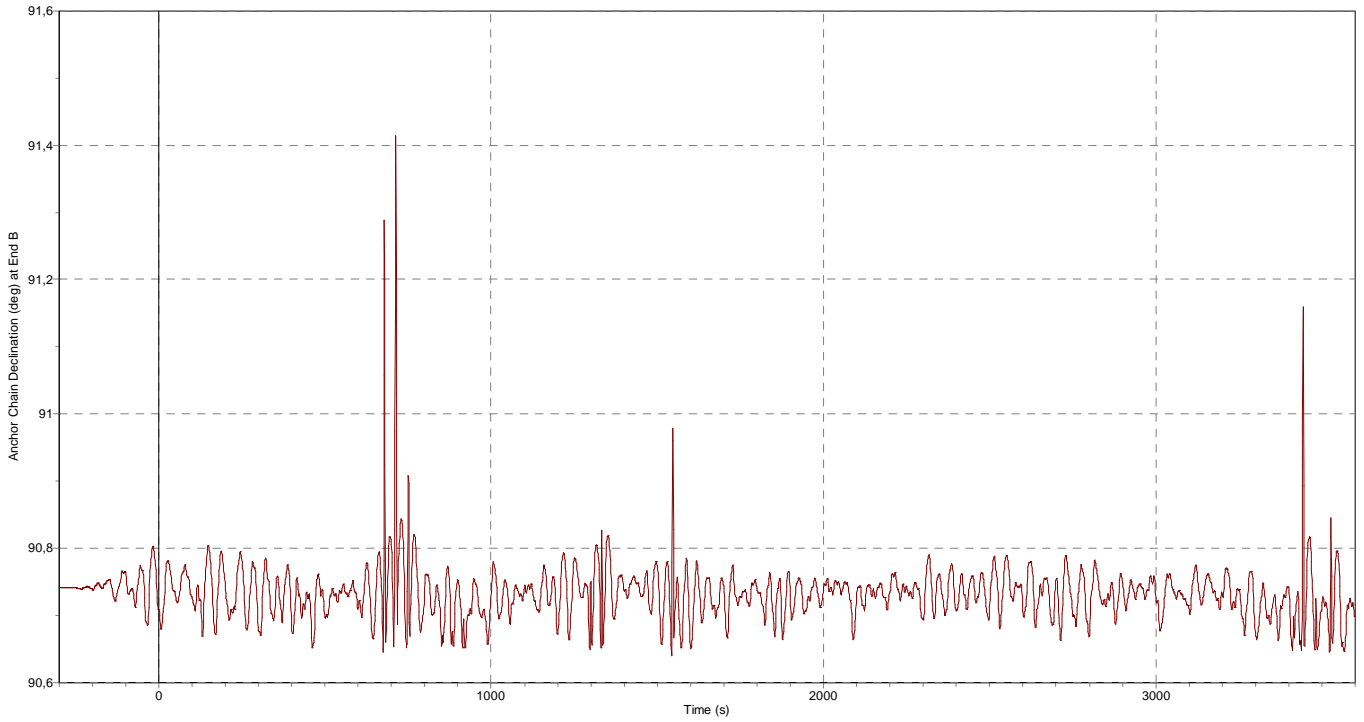
# ANNEXE 3

OrcaFlex 9.3a: CASE2.3\_a.sim (modified 20.29 on 06/06/2010 by OrcaFlex 9.3a)  
Range Graph: Anchor Chain Seabed Clearance, over Whole Simulation

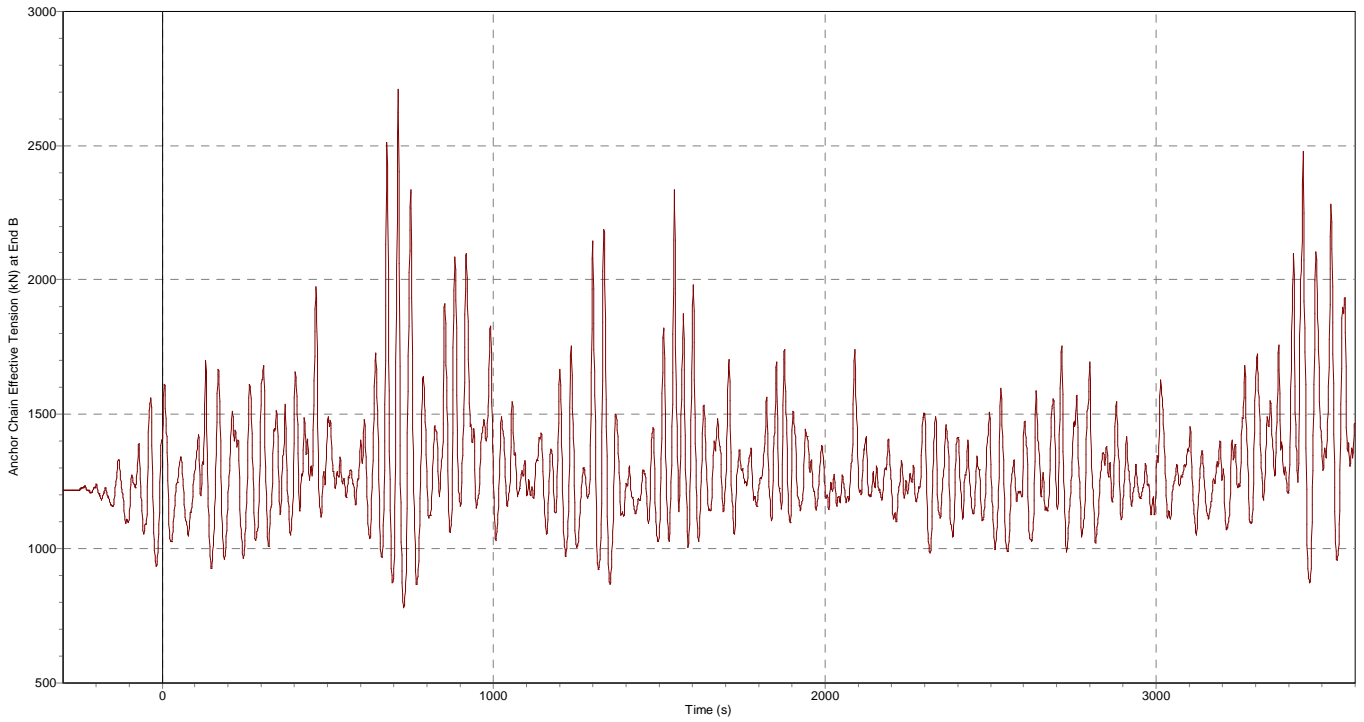


Case 2.4

OrcaFlex 9.3a: CASE2.4\_a.sim (modified 22.00 on 06/06/2010 by OrcaFlex 9.3a)  
Time History: Anchor Chain Declination at End B



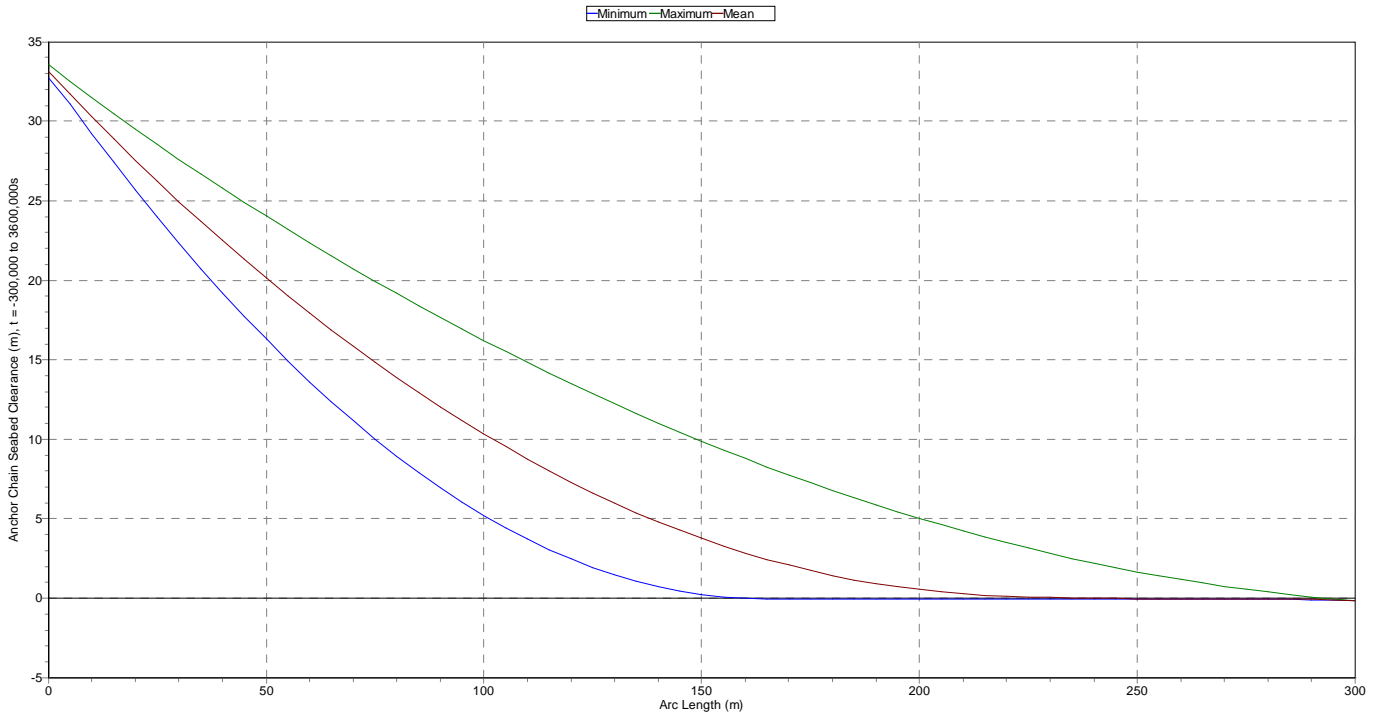
OrcaFlex 9.3a: CASE2.4\_a.sim (modified 22.00 on 06/06/2010 by OrcaFlex 9.3a)  
Time History: Anchor Chain Effective Tension at End B





# ANNEXE 3

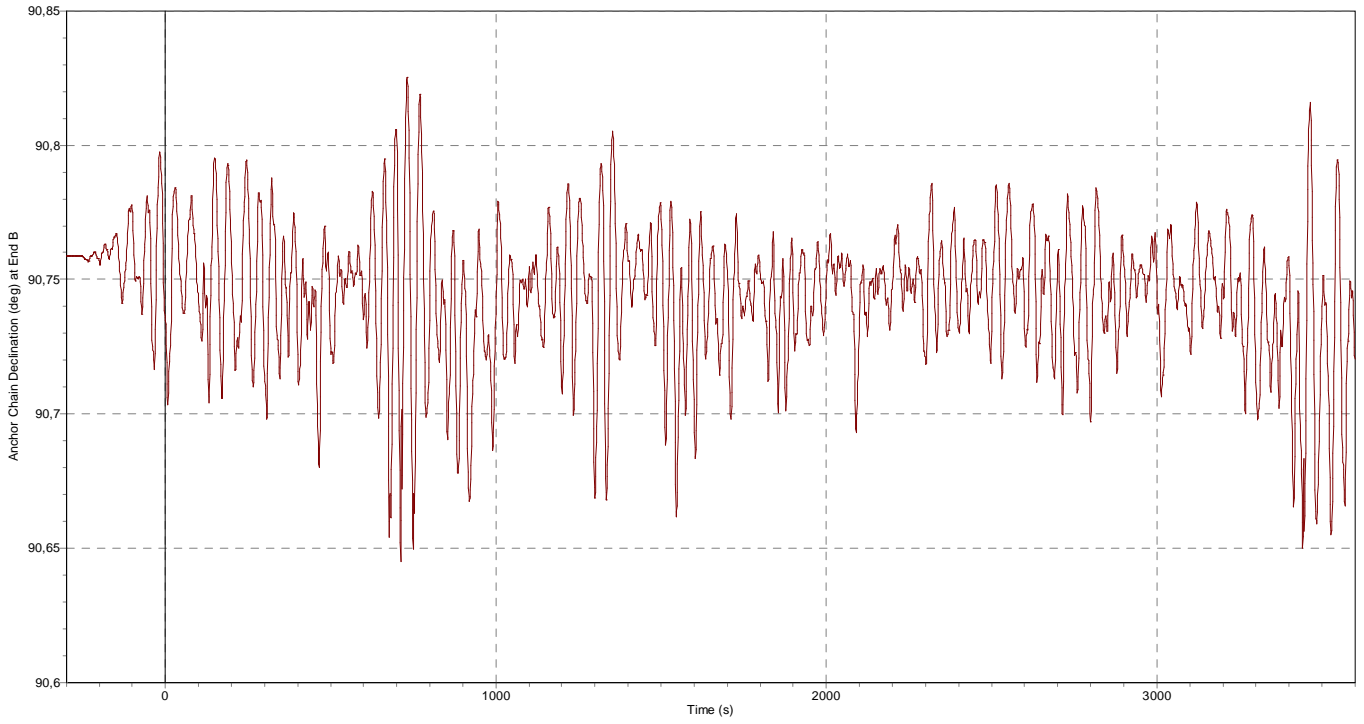
OrcaFlex 9.3a: CASE2.4\_a.sim (modified 22.00 on 06/06/2010 by OrcaFlex 9.3a)  
Range Graph: Anchor Chain Seabed Clearance, over Whole Simulation



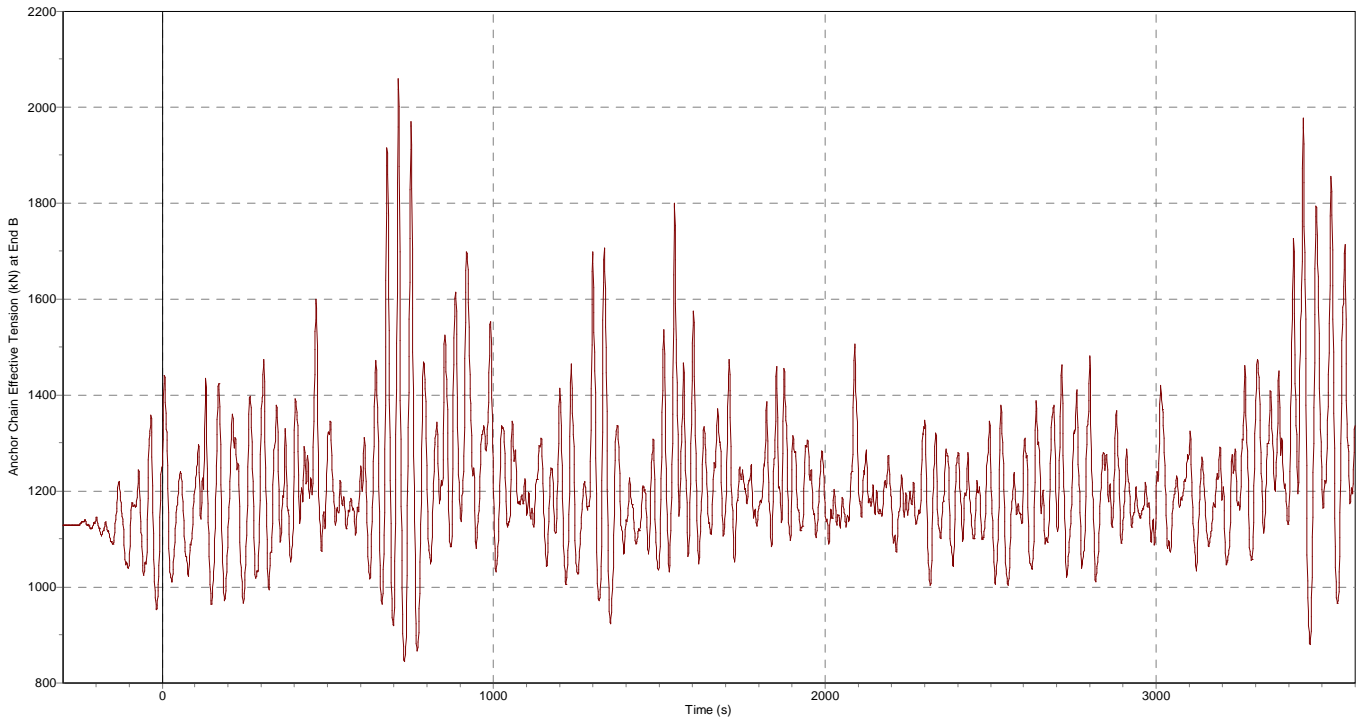
ANNEXE 3

Case 2.5

OrcaFlex 9.3a: CASE2.5\_a\_sim (modified 22.01 on 06/06/2010 by OrcaFlex 9.3a)  
Time History: Anchor Chain Declination at End B

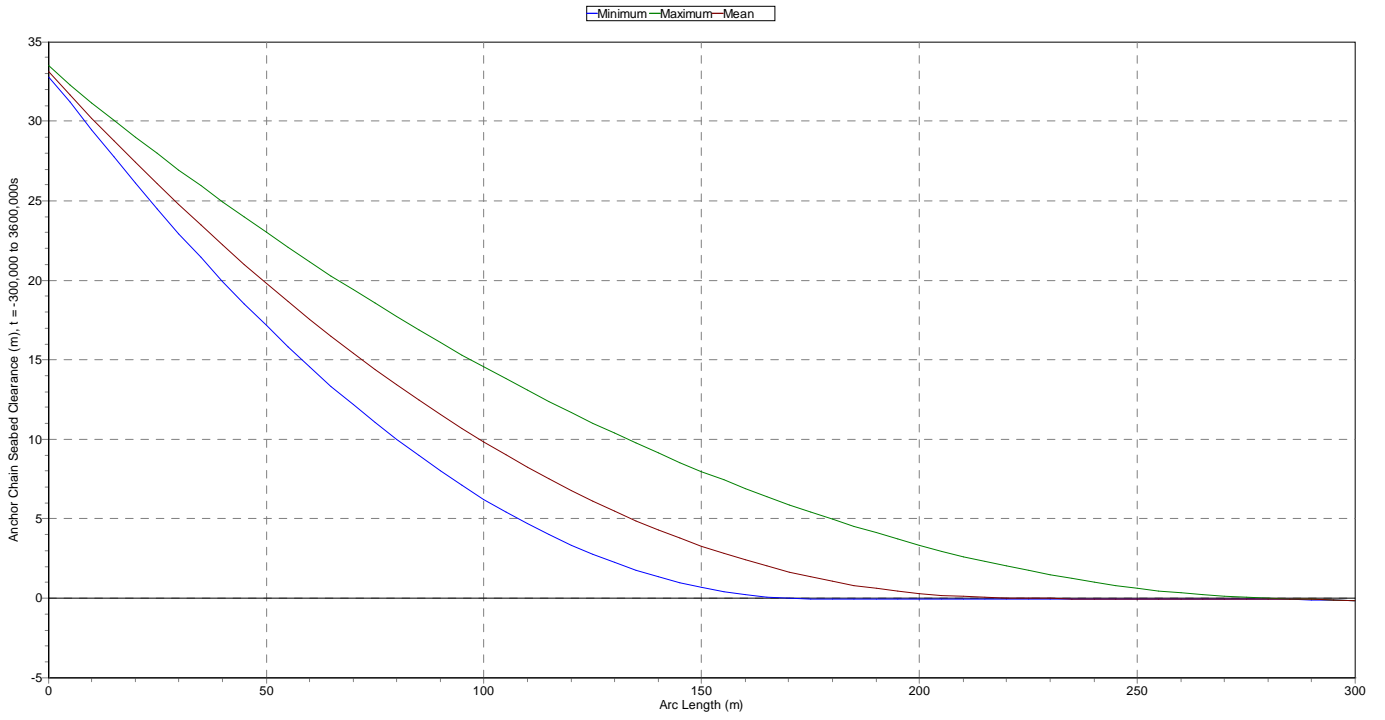


OrcaFlex 9.3a: CASE2.5\_a\_sim (modified 22.01 on 06/06/2010 by OrcaFlex 9.3a)  
Time History: Anchor Chain Effective Tension at End B



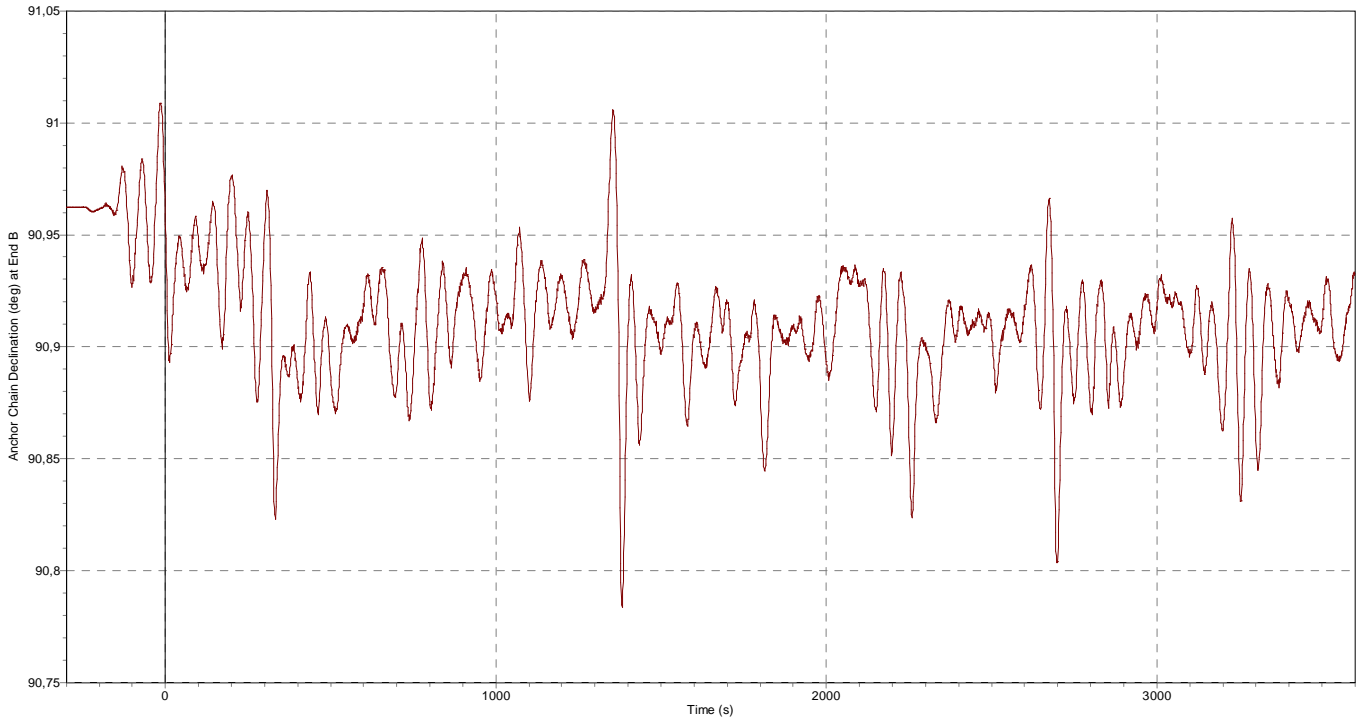
# ANNEXE 3

OrcaFlex 9.3a: CASE2.5\_a.sim (modified 22.01 on 06/06/2010 by OrcaFlex 9.3a)  
Range Graph: Anchor Chain Seabed Clearance, over Whole Simulation

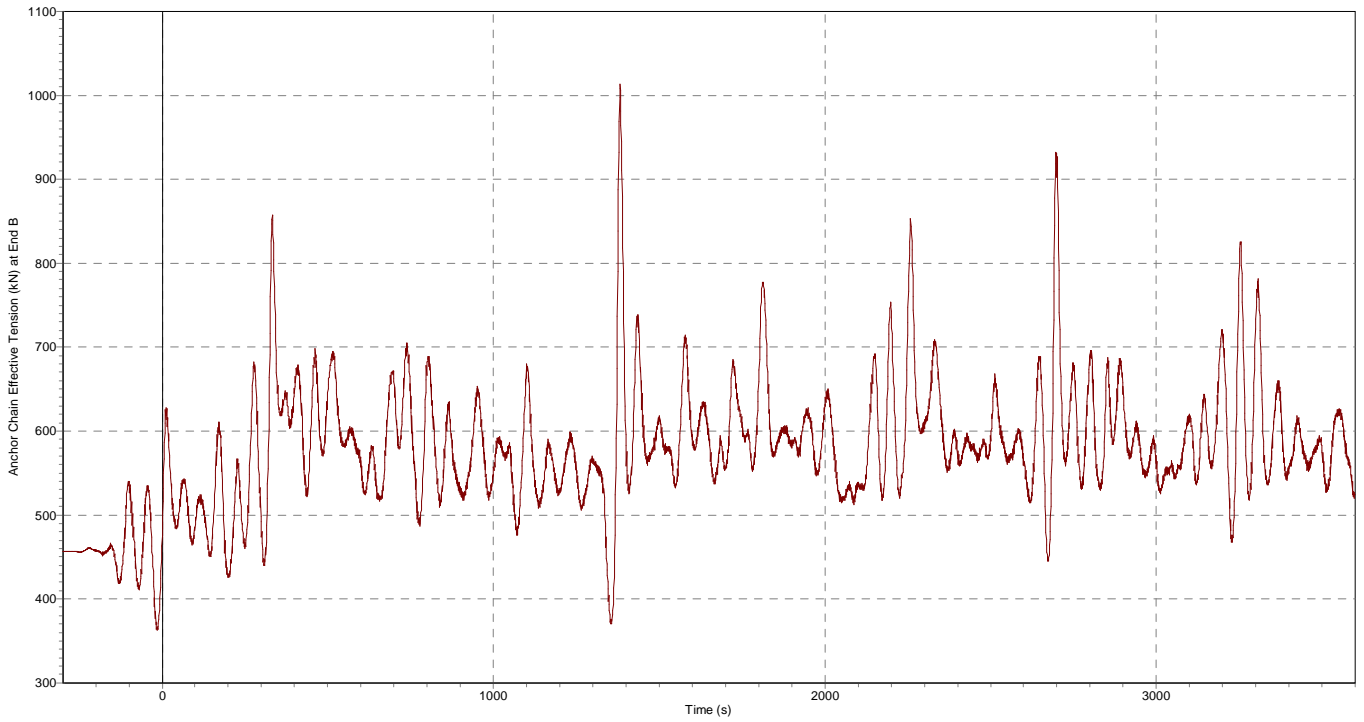


Case 6

OrcaFlex 9.3a: CASE6\_a.sim (modified 7.52 on 07/06/2010 by OrcaFlex 9.3a)  
Time History: Anchor Chain Declination at End B

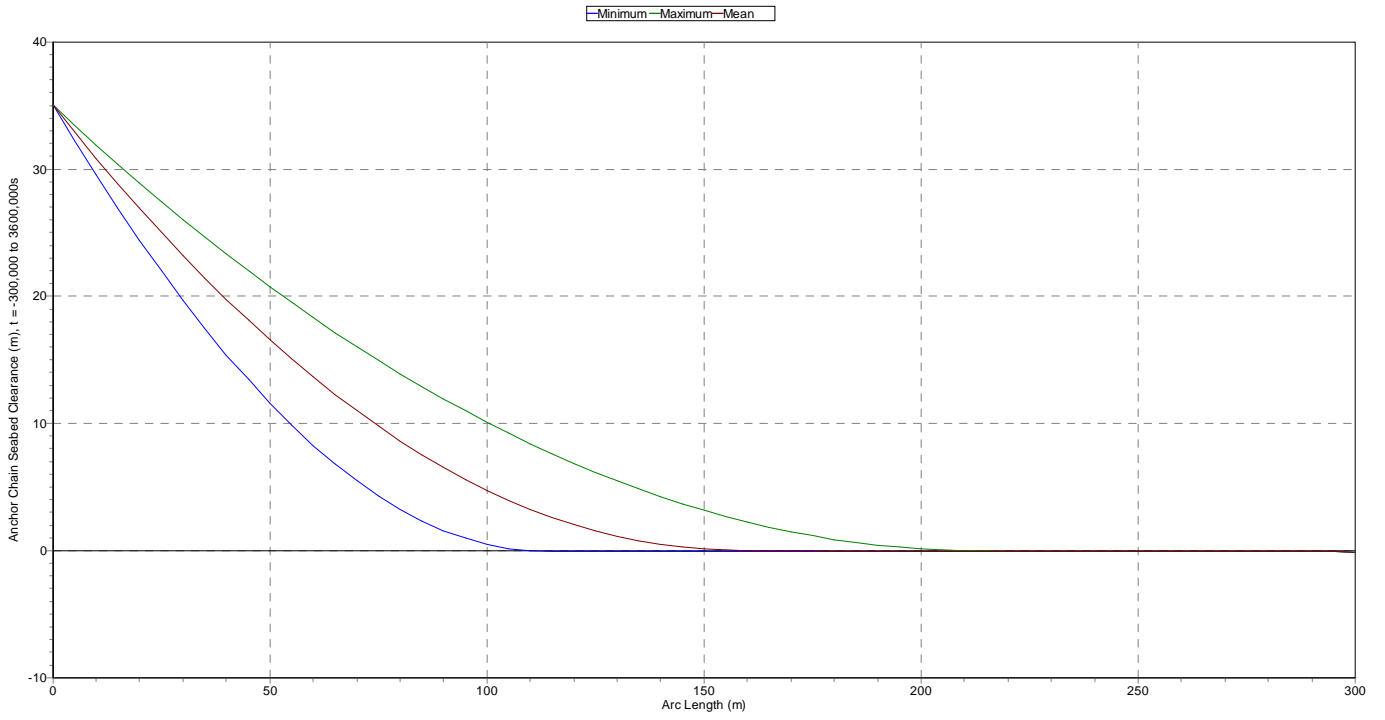


OrcaFlex 9.3a: CASE6\_a.sim (modified 7.52 on 07/06/2010 by OrcaFlex 9.3a)  
Time History: Anchor Chain Effective Tension at End B



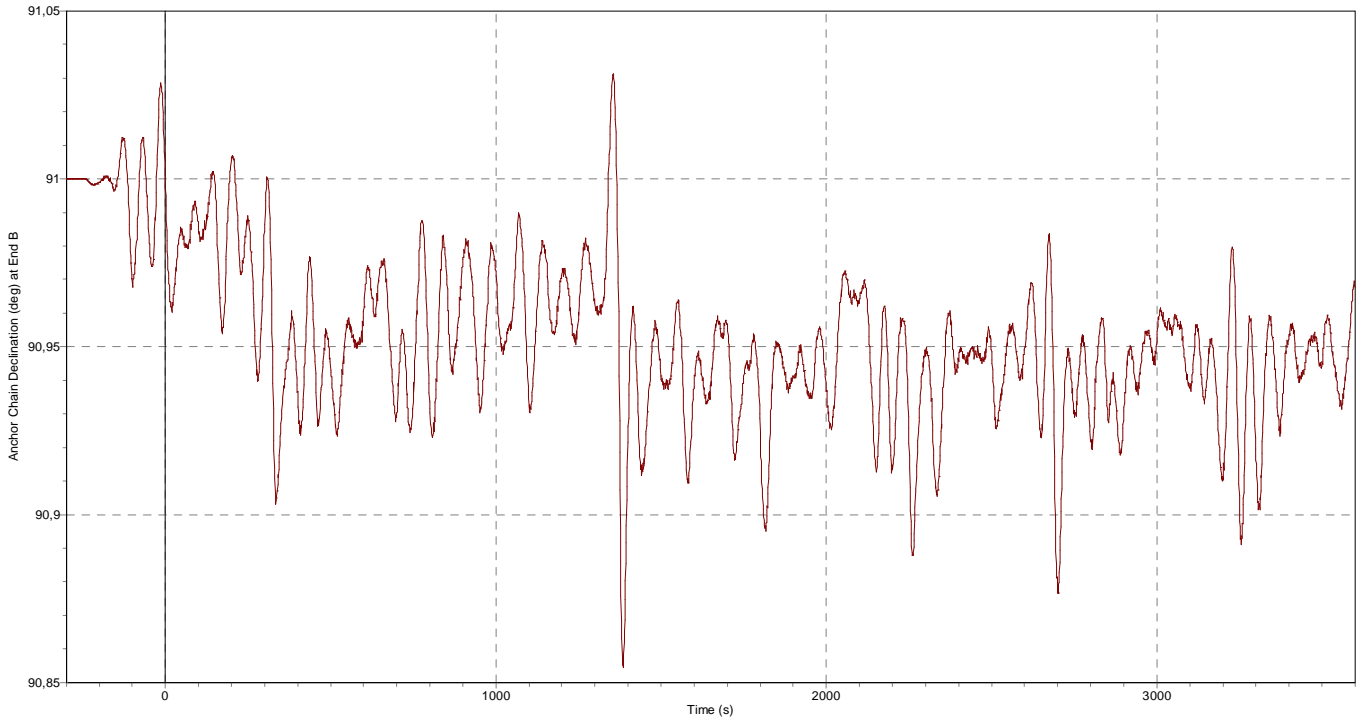
# ANNEXE 3

OrcaFlex 9.3a: CASE6\_a.sim (modified 7.52 on 07/06/2010 by OrcaFlex 9.3a)  
Range Graph: Anchor Chain Seabed Clearance, over Whole Simulation

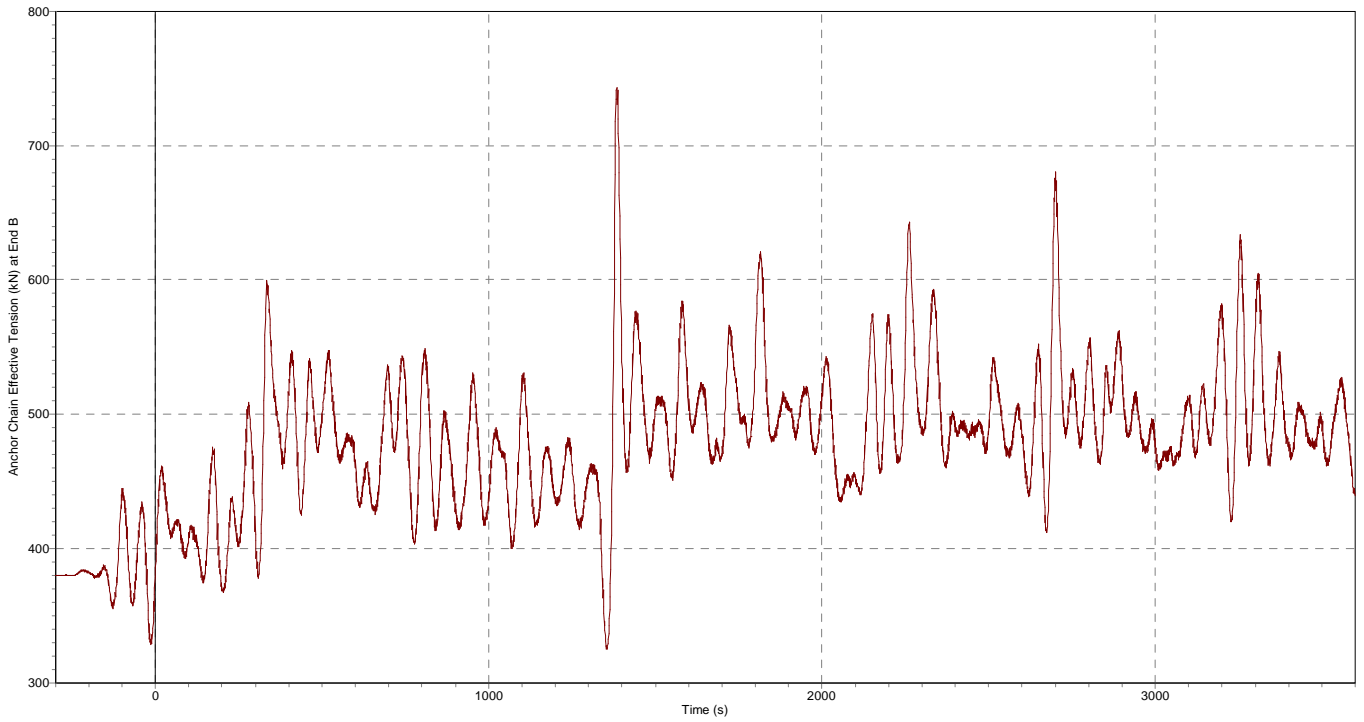


Case 6.1

OrcaFlex 9.3a: CASE6.1\_a.sim (modified 6.10 on 07/06/2010 by OrcaFlex 9.3a)  
Time History: Anchor Chain Declination at End B

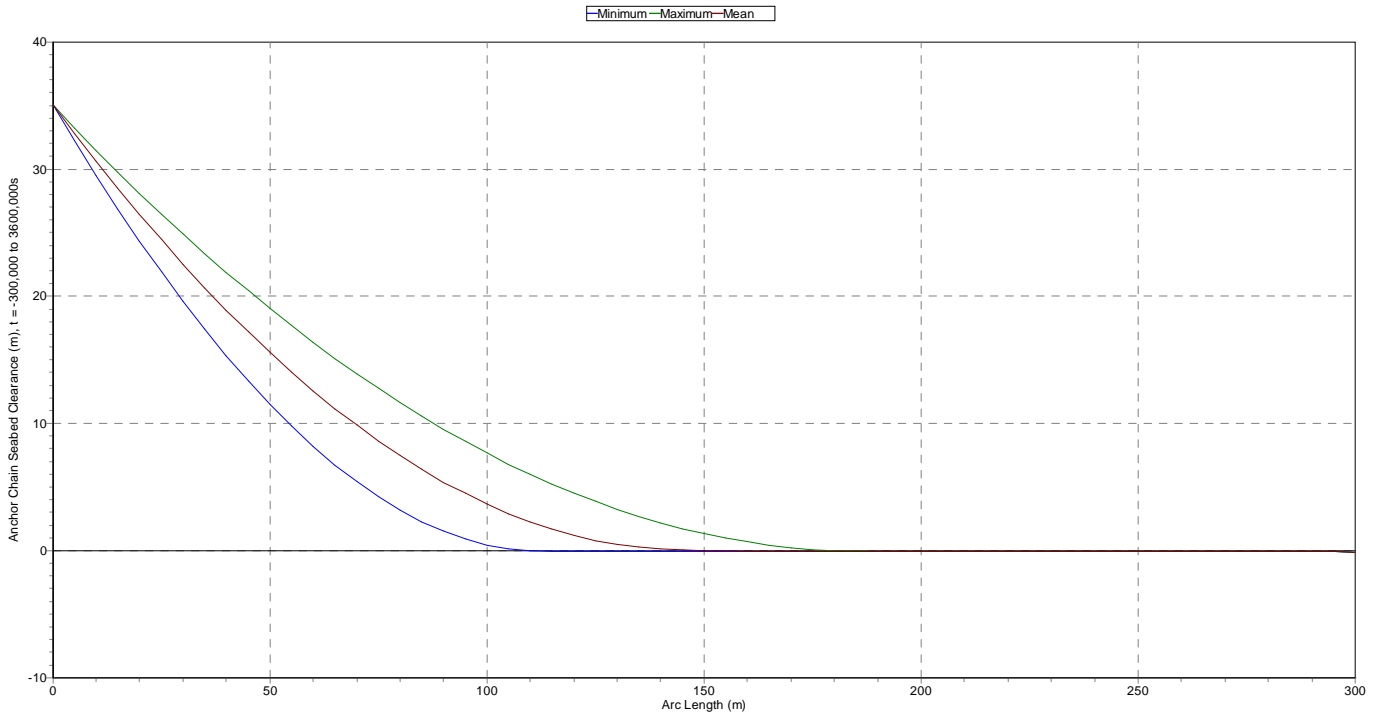


OrcaFlex 9.3a: CASE6.1\_a.sim (modified 6.10 on 07/06/2010 by OrcaFlex 9.3a)  
Time History: Anchor Chain Effective Tension at End B



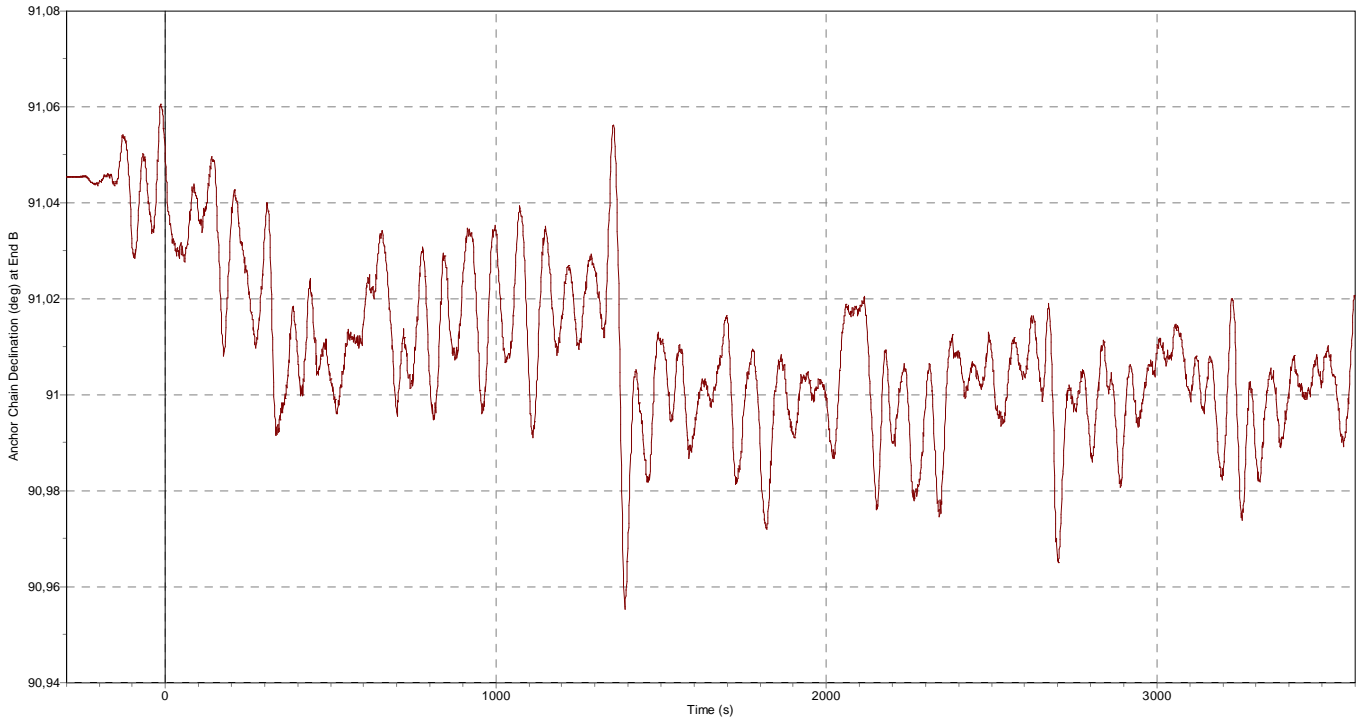
# ANNEXE 3

OrcaFlex 9.3a: CASE6.1\_a.sim (modified 6.10 on 07/06/2010 by OrcaFlex 9.3a)  
Range Graph: Anchor Chain Seabed Clearance, over Whole Simulation

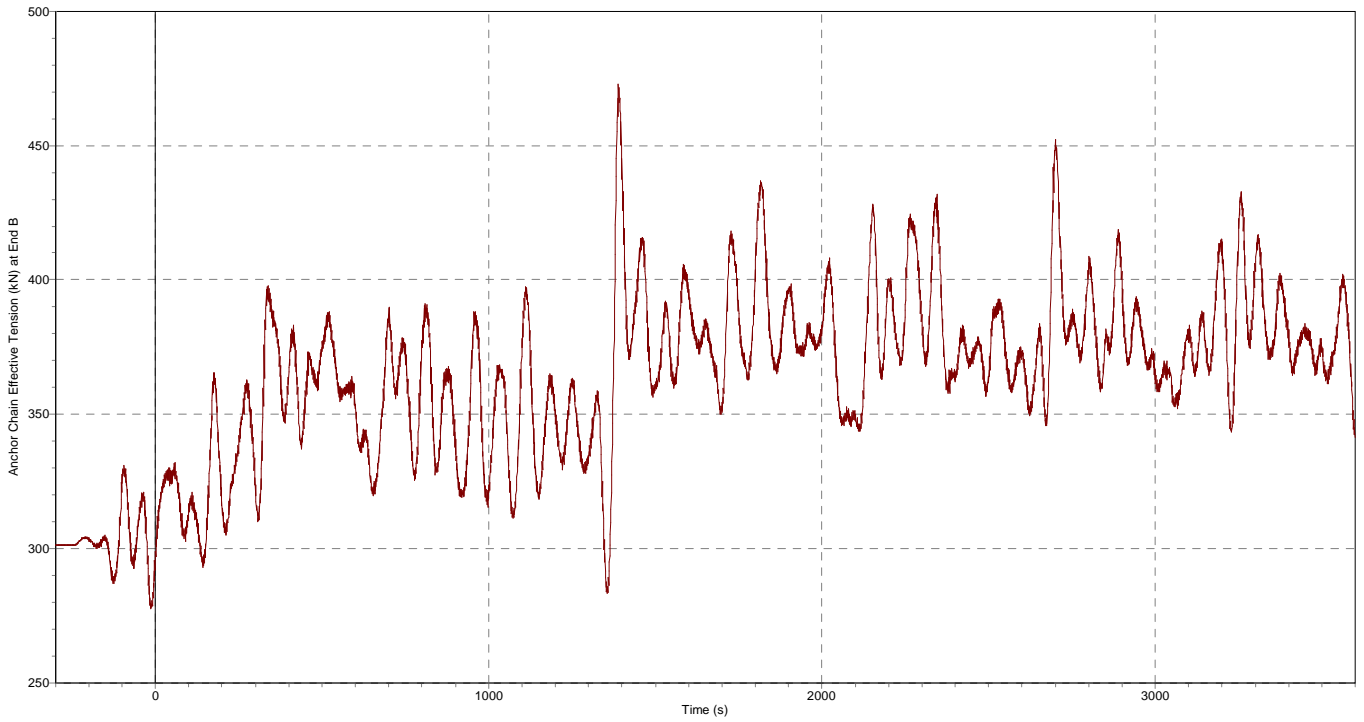


Case 6.2

OrcaFlex 9.3a: CASE6.2\_a.sim (modified 7.43 on 07/06/2010 by OrcaFlex 9.3a)  
Time History: Anchor Chain Declination at End B



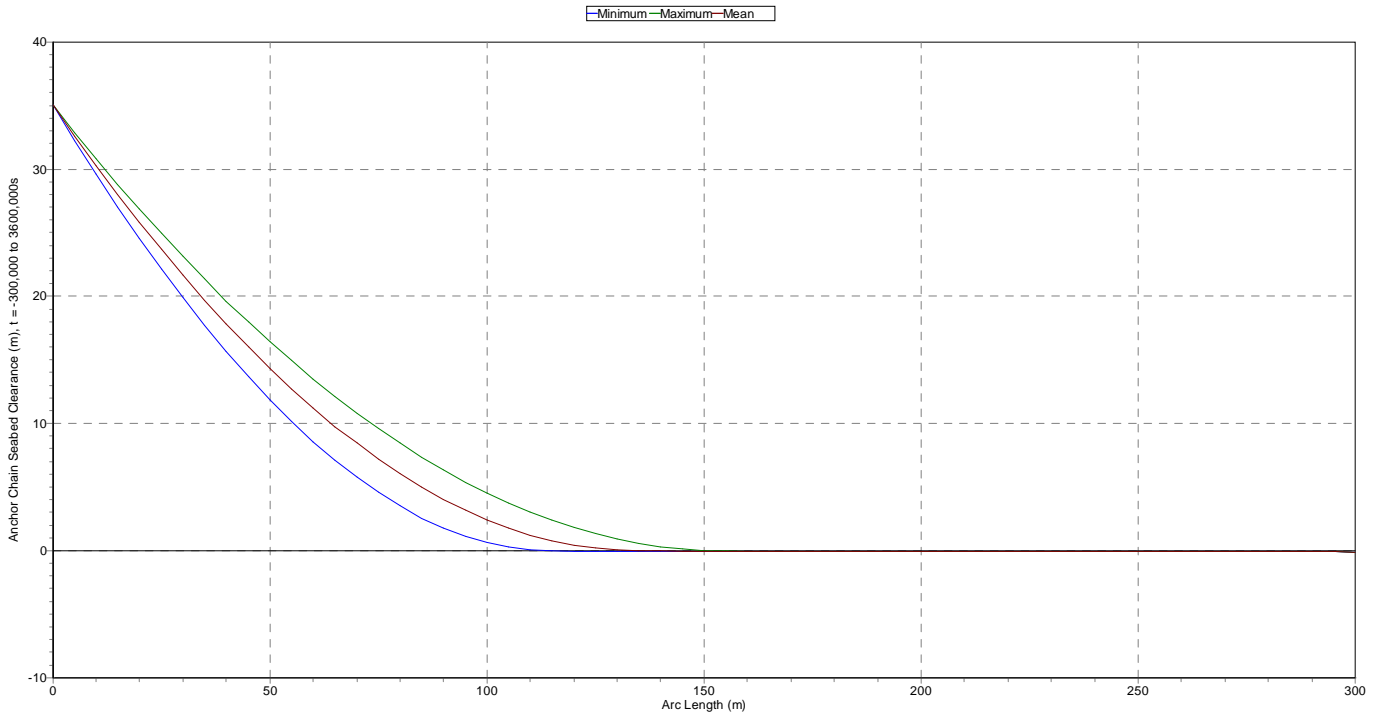
OrcaFlex 9.3a: CASE6.2\_a.sim (modified 7.43 on 07/06/2010 by OrcaFlex 9.3a)  
Time History: Anchor Chain Effective Tension at End B





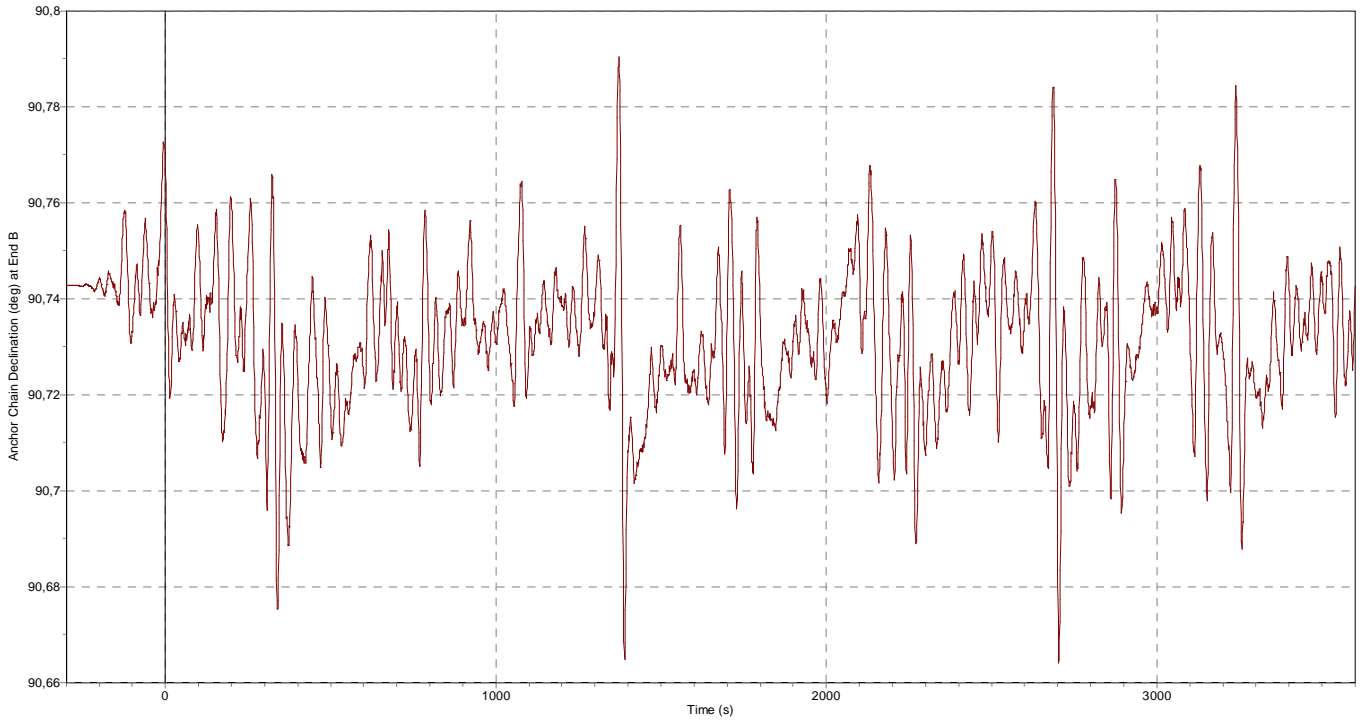
# ANNEXE 3

OrcaFlex 9.3a: CASE6.2\_a.sim (modified 7.43 on 07/06/2010 by OrcaFlex 9.3a)  
Range Graph: Anchor Chain Seabed Clearance, over Whole Simulation



Case 7

OrcaFlex 9.3a: CASE7\_a.sim (modified 11.15 on 07/06/2010 by OrcaFlex 9.3a)  
Time History: Anchor Chain Declination at End B

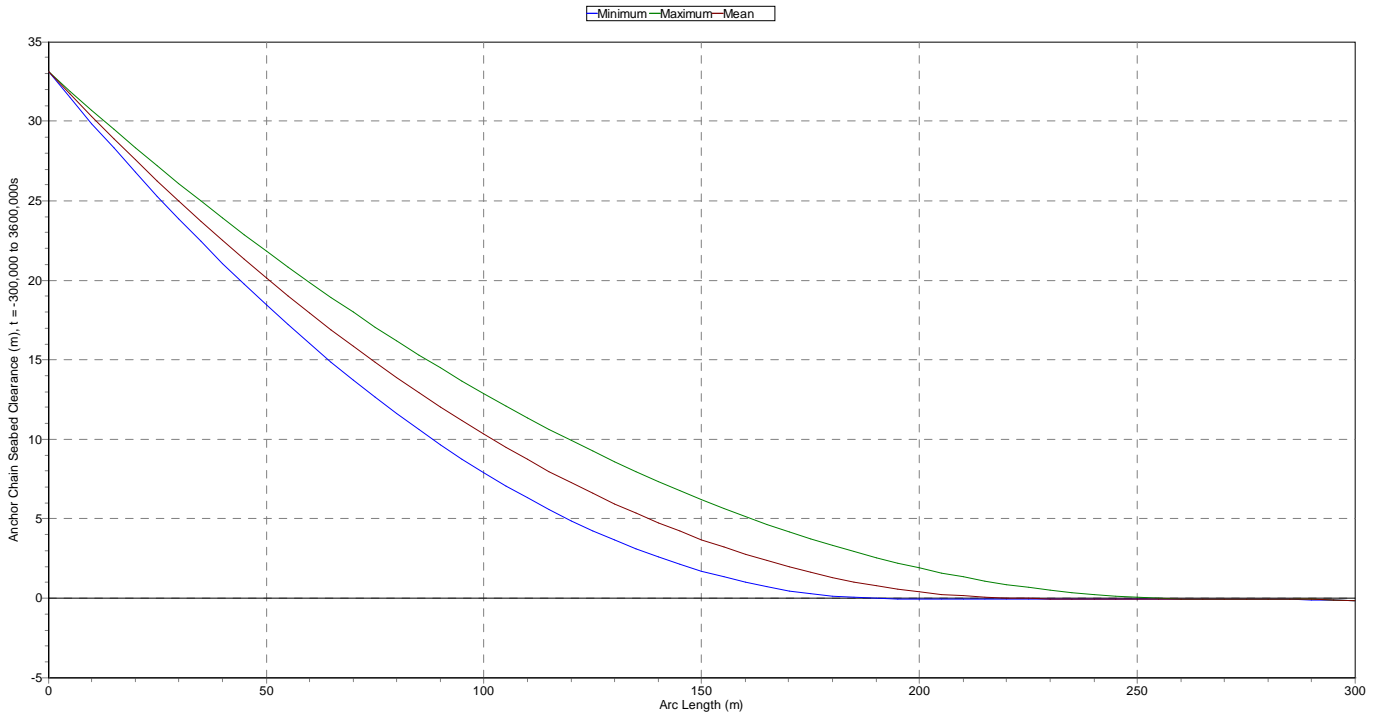


OrcaFlex 9.3a: CASE7\_a.sim (modified 11.15 on 07/06/2010 by OrcaFlex 9.3a)  
Time History: Anchor Chain Effective Tension at End B



# ANNEXE 3

OrcaFlex 9.3a: CASE7\_a.sim (modified 11.15 on 07/06/2010 by OrcaFlex 9.3a)  
Range Graph: Anchor Chain Seabed Clearance, over Whole Simulation

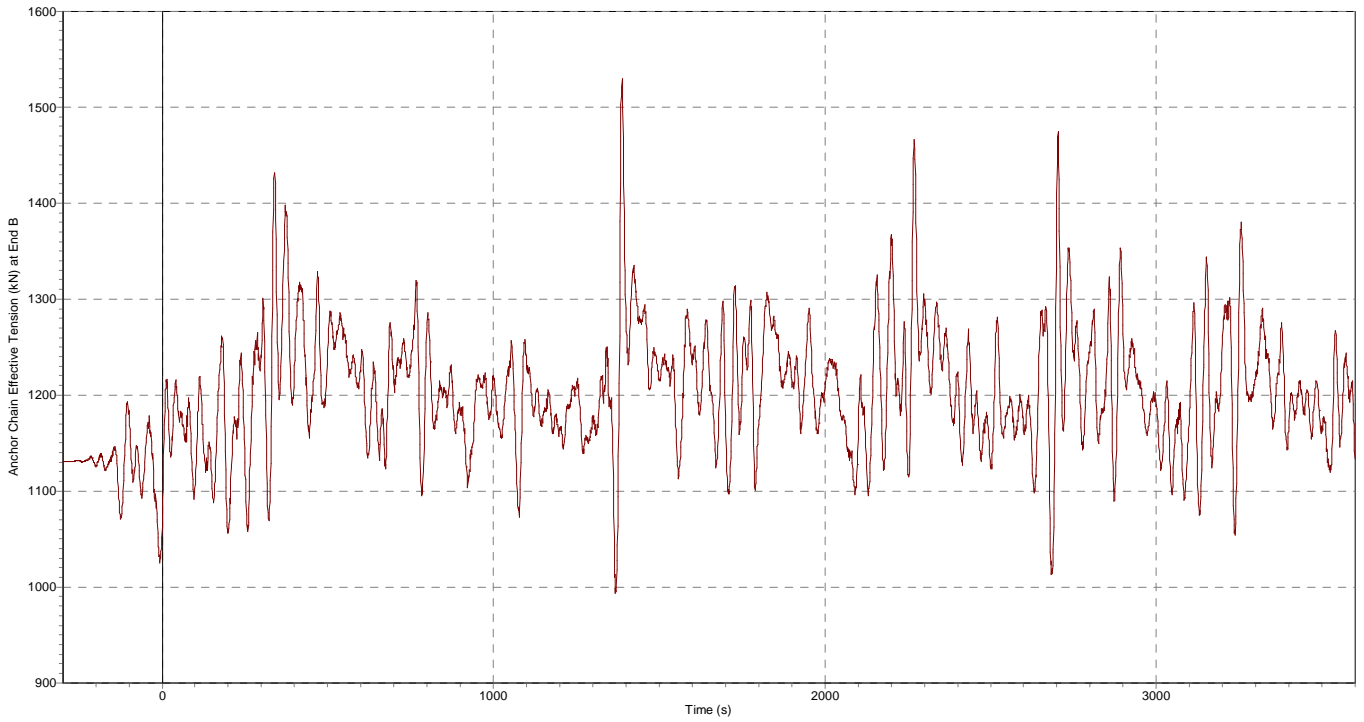


Case 7.1

OrcaFlex 9.3a: CASE7.1\_a.sim (modified 9.24 on 07/06/2010 by OrcaFlex 9.3a)  
Time History: Anchor Chain Declination at End B

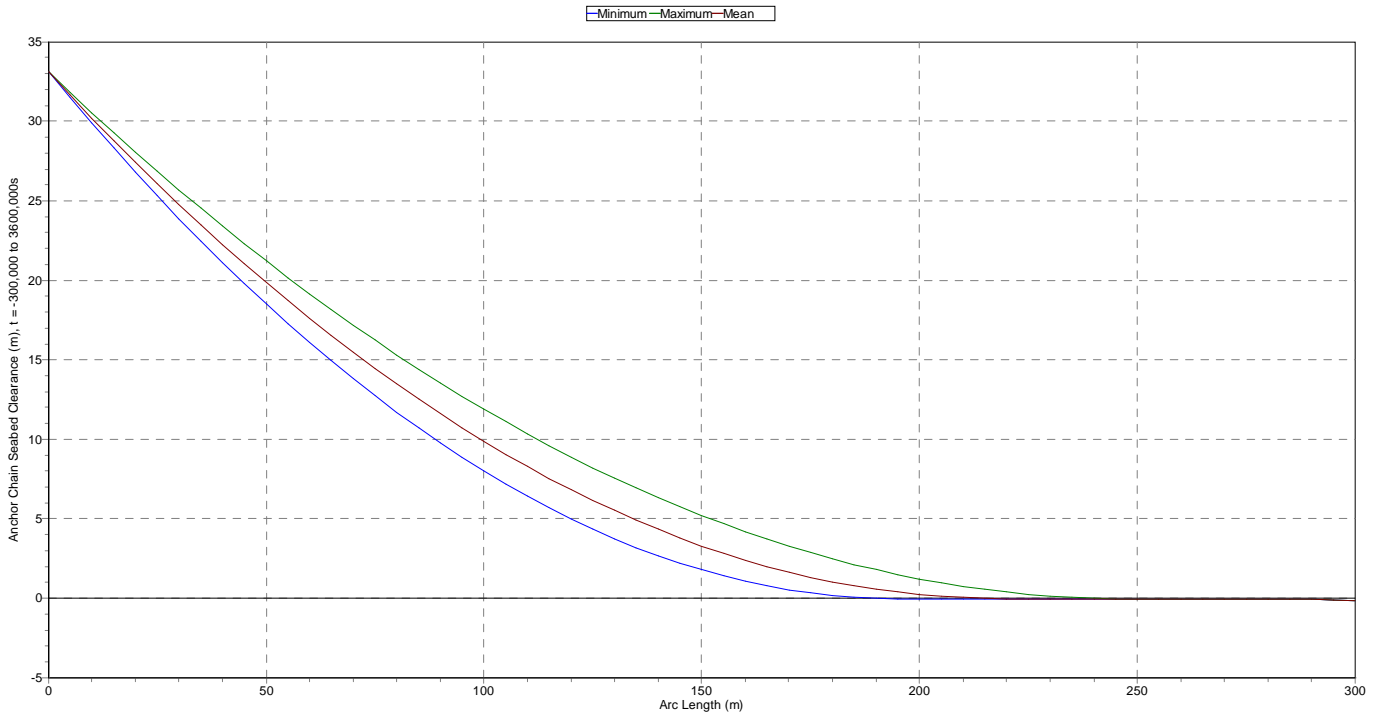


OrcaFlex 9.3a: CASE7.1\_a.sim (modified 9.24 on 07/06/2010 by OrcaFlex 9.3a)  
Time History: Anchor Chain Effective Tension at End B



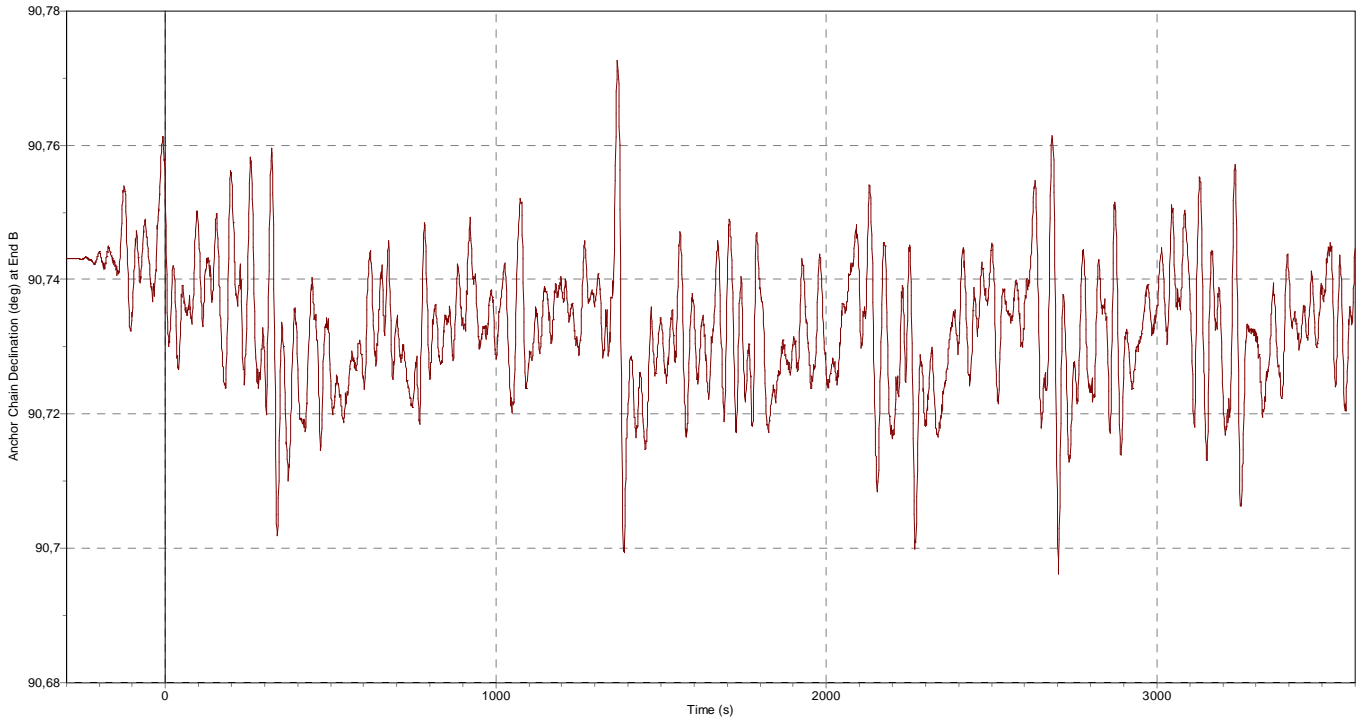
# ANNEXE 3

OrcaFlex 9.3a: CASE7.1\_a.sim (modified 9.24 on 07/06/2010 by OrcaFlex 9.3a)  
Range Graph: Anchor Chain Seabed Clearance, over Whole Simulation

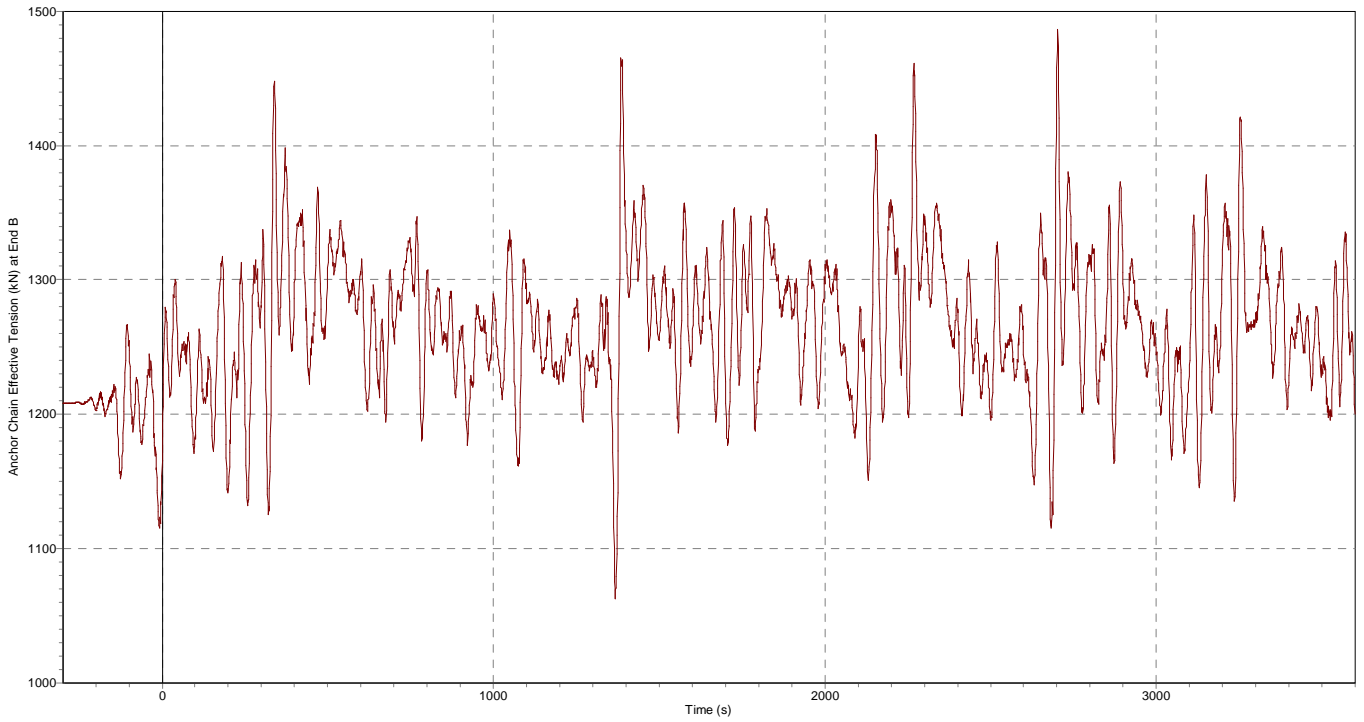


Case 7.2

OrcaFlex 9.3a: CASE7.2\_a.sim (modified 9.32 on 07/06/2010 by OrcaFlex 9.3a)  
Time History: Anchor Chain Declination at End B

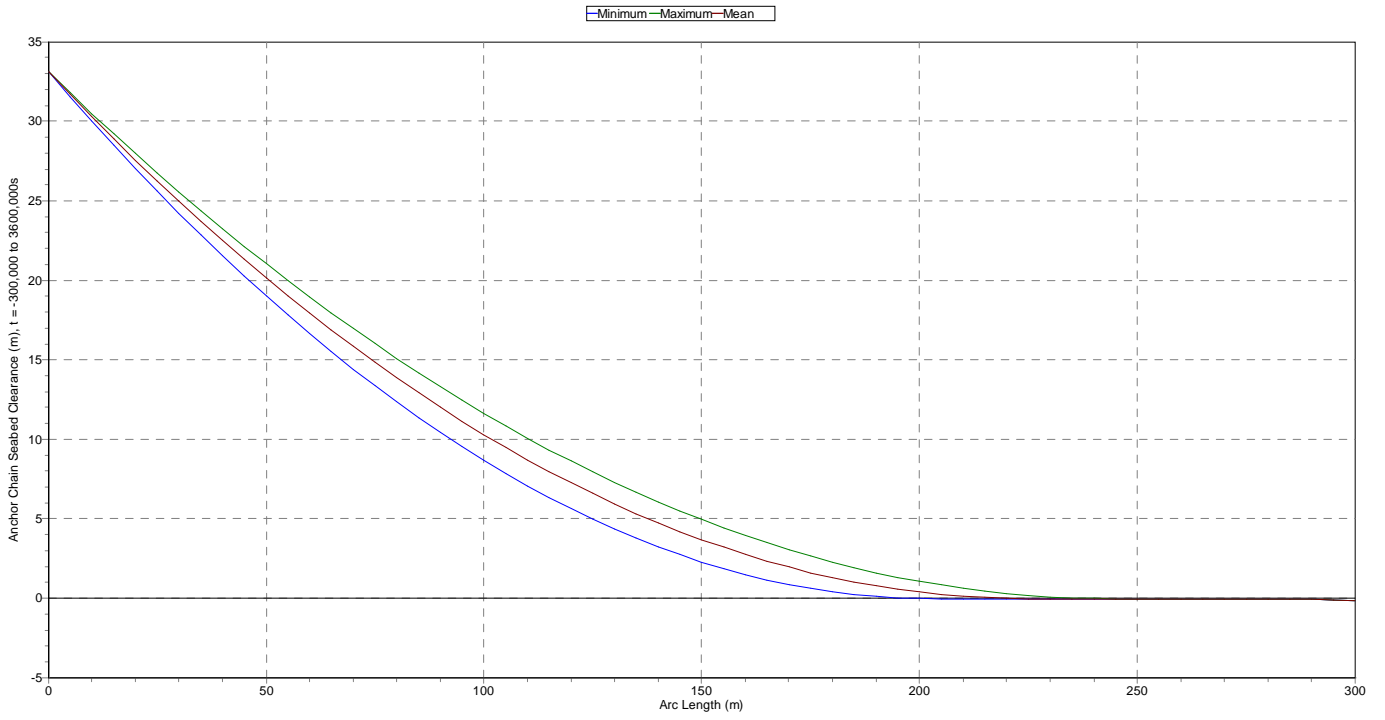


OrcaFlex 9.3a: CASE7.2\_a.sim (modified 9.32 on 07/06/2010 by OrcaFlex 9.3a)  
Time History: Anchor Chain Effective Tension at End B



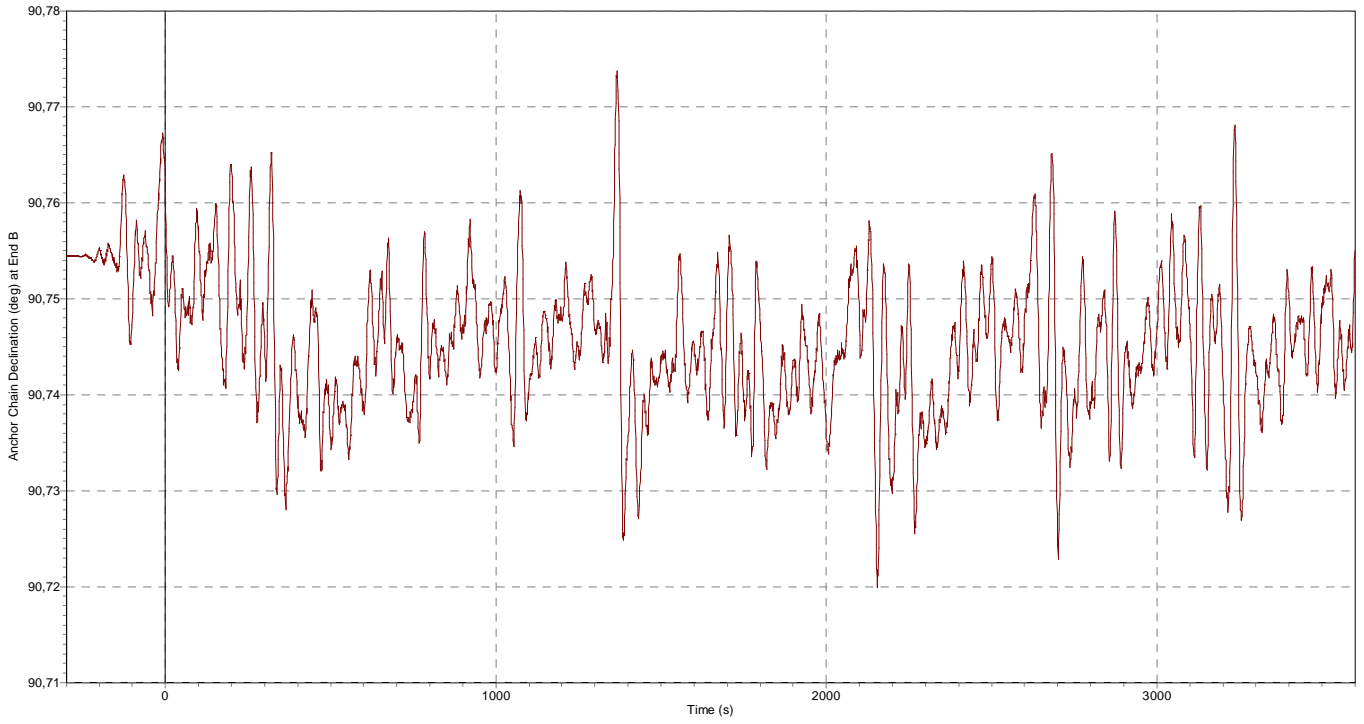
# ANNEXE 3

OrcaFlex 9.3a: CASE7.2\_a.sim (modified 9.32 on 07/06/2010 by OrcaFlex 9.3a)  
Range Graph: Anchor Chain Seabed Clearance, over Whole Simulation



Case 7.3

OrcaFlex 9.3a: CASE7.3\_a.sim (modified 11.09 on 07/06/2010 by OrcaFlex 9.3a)  
Time History: Anchor Chain Declination at End B



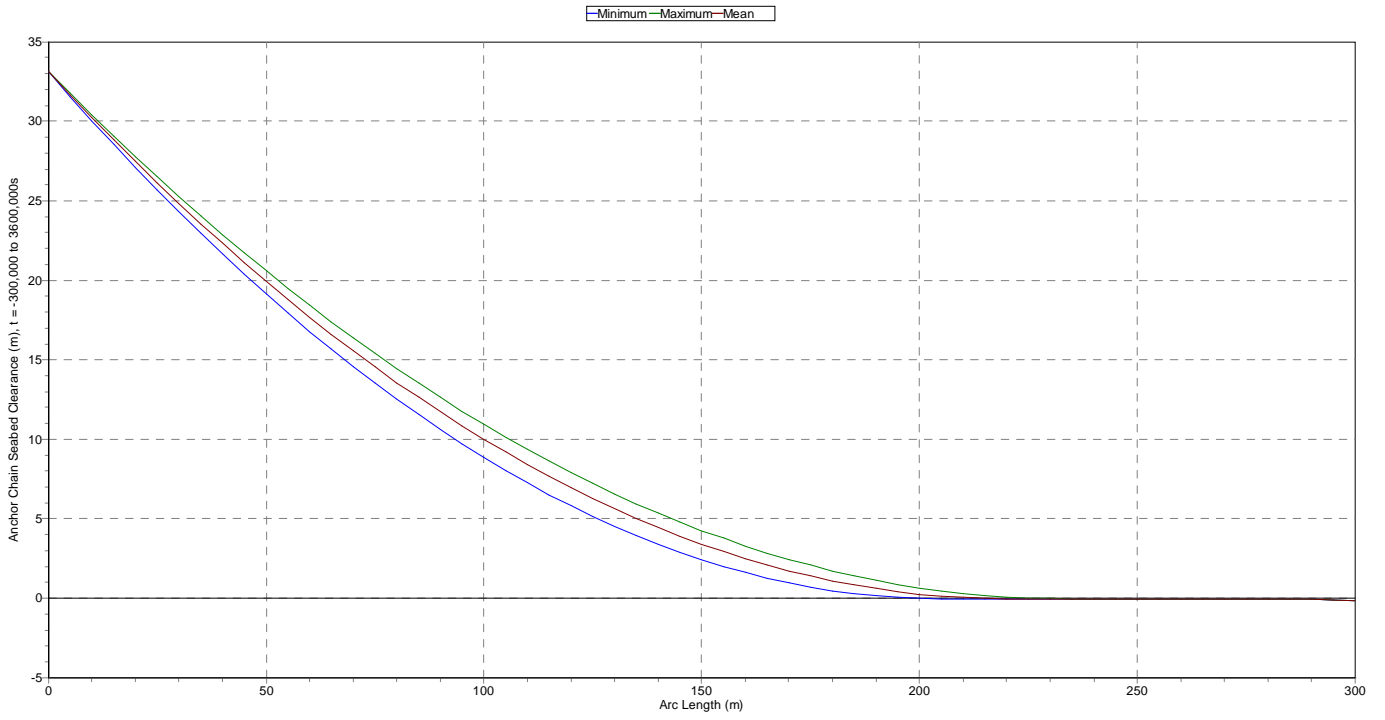
OrcaFlex 9.3a: CASE7.3\_a.sim (modified 11.09 on 07/06/2010 by OrcaFlex 9.3a)  
Time History: Anchor Chain Effective Tension at End B





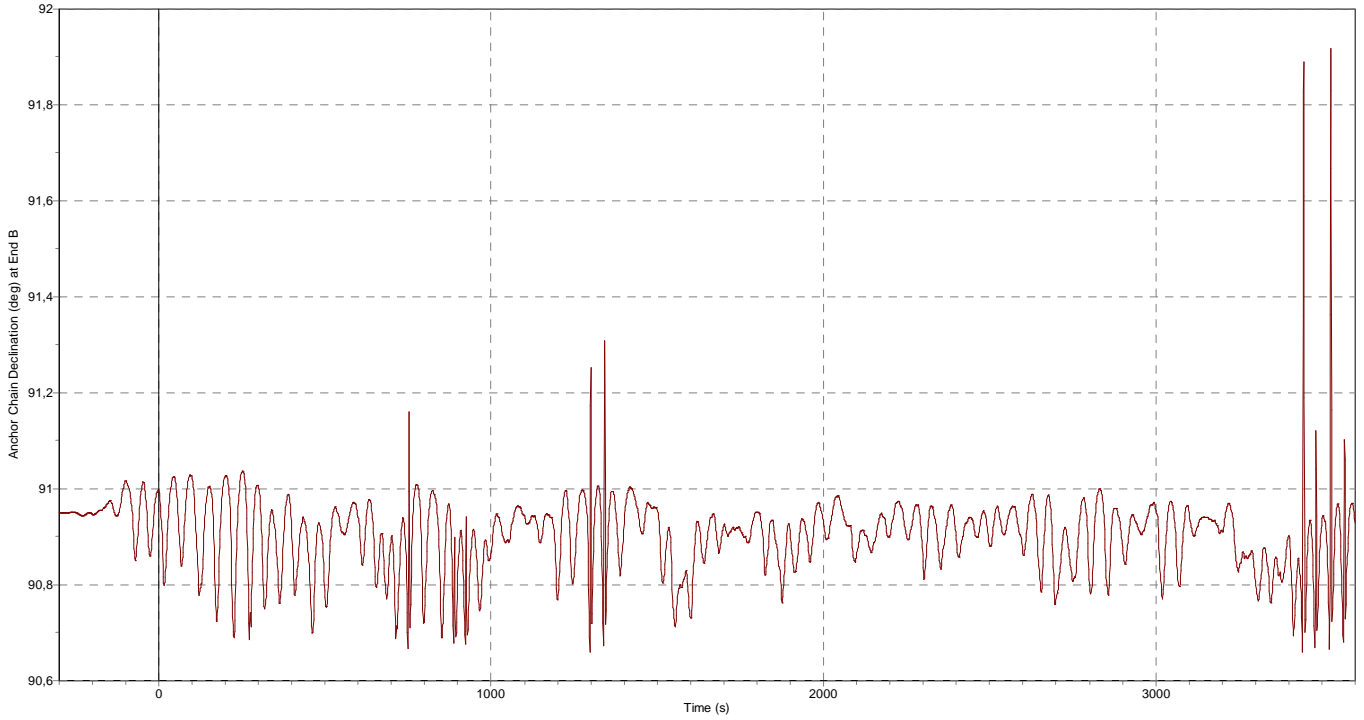
# ANNEXE 3

OrcaFlex 9.3a: CASE7.3\_a.sim (modified 11.09 on 07/06/2010 by OrcaFlex 9.3a)  
Range Graph: Anchor Chain Seabed Clearance, over Whole Simulation

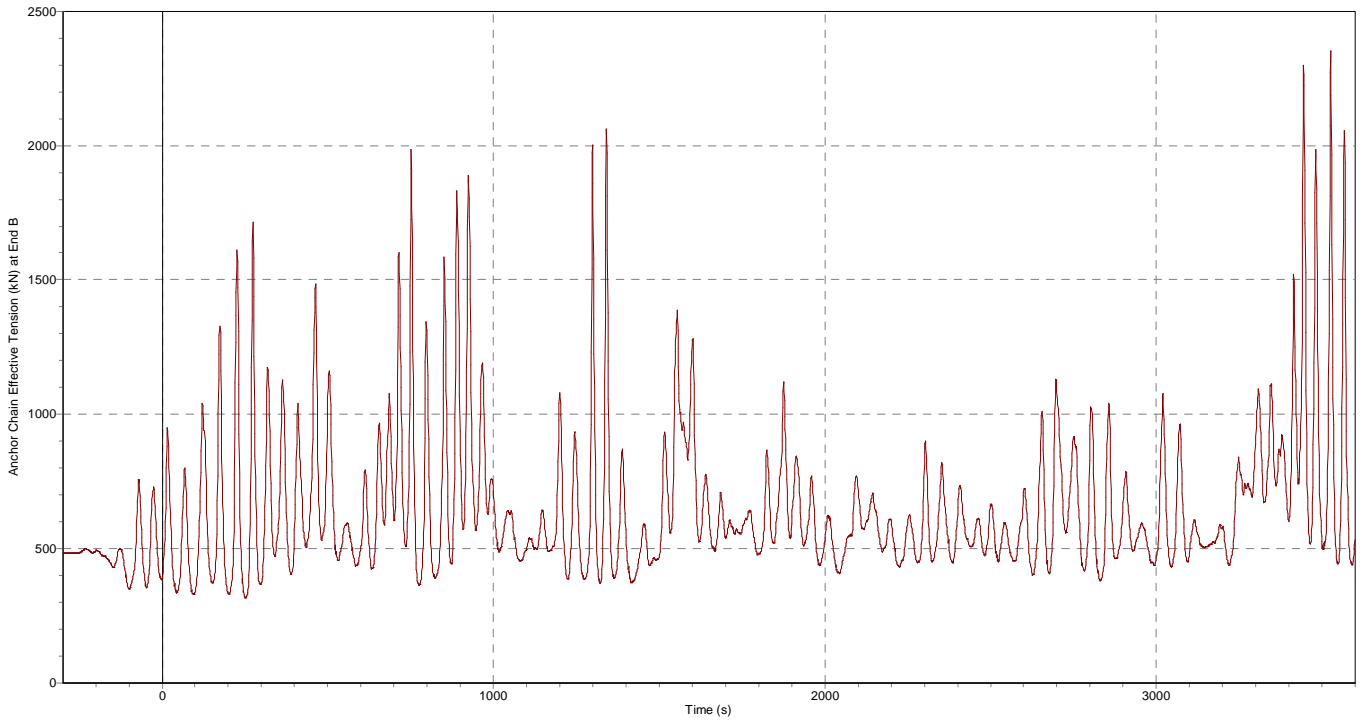


Case 25

OrcaFlex 9.3a: CASE25\_a.sim (modified 1.08 on 07/06/2010 by OrcaFlex 9.3a)  
Time History: Anchor Chain Declination at End B

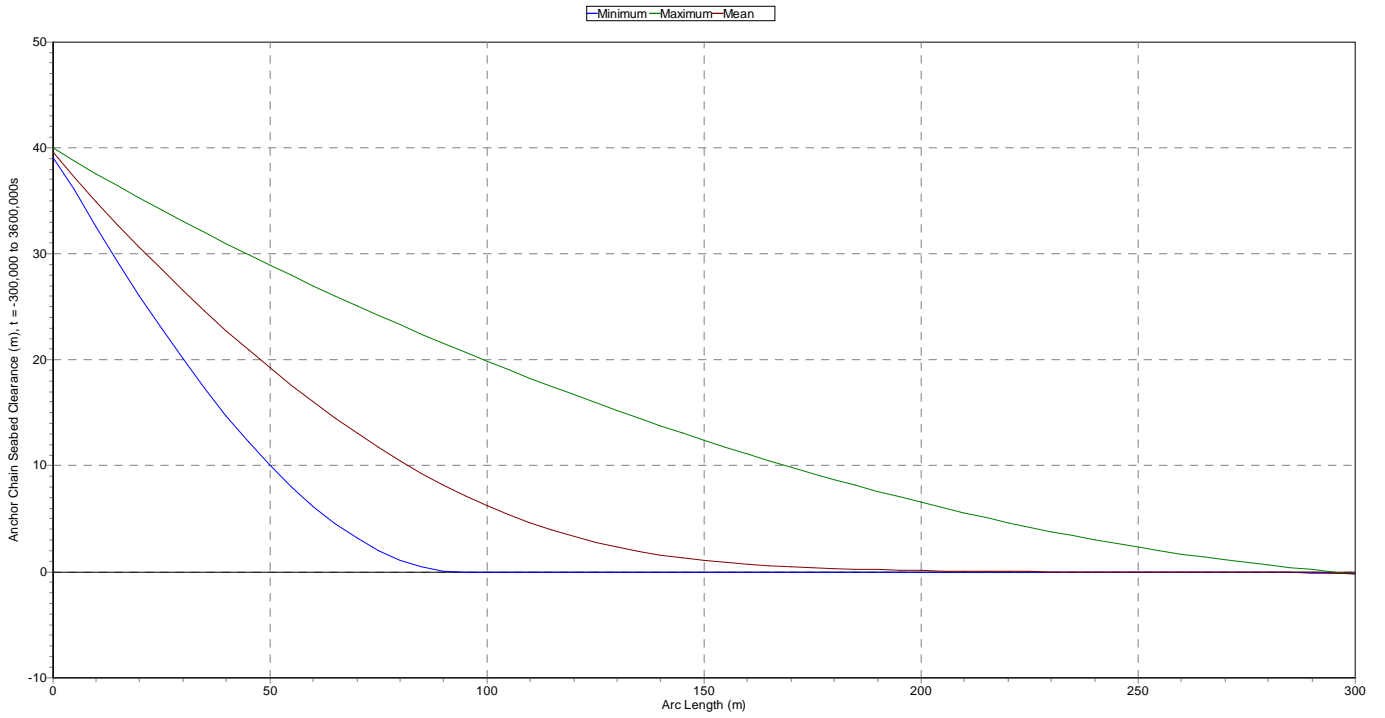


OrcaFlex 9.3a: CASE25\_a.sim (modified 1.08 on 07/06/2010 by OrcaFlex 9.3a)  
Time History: Anchor Chain Effective Tension at End B



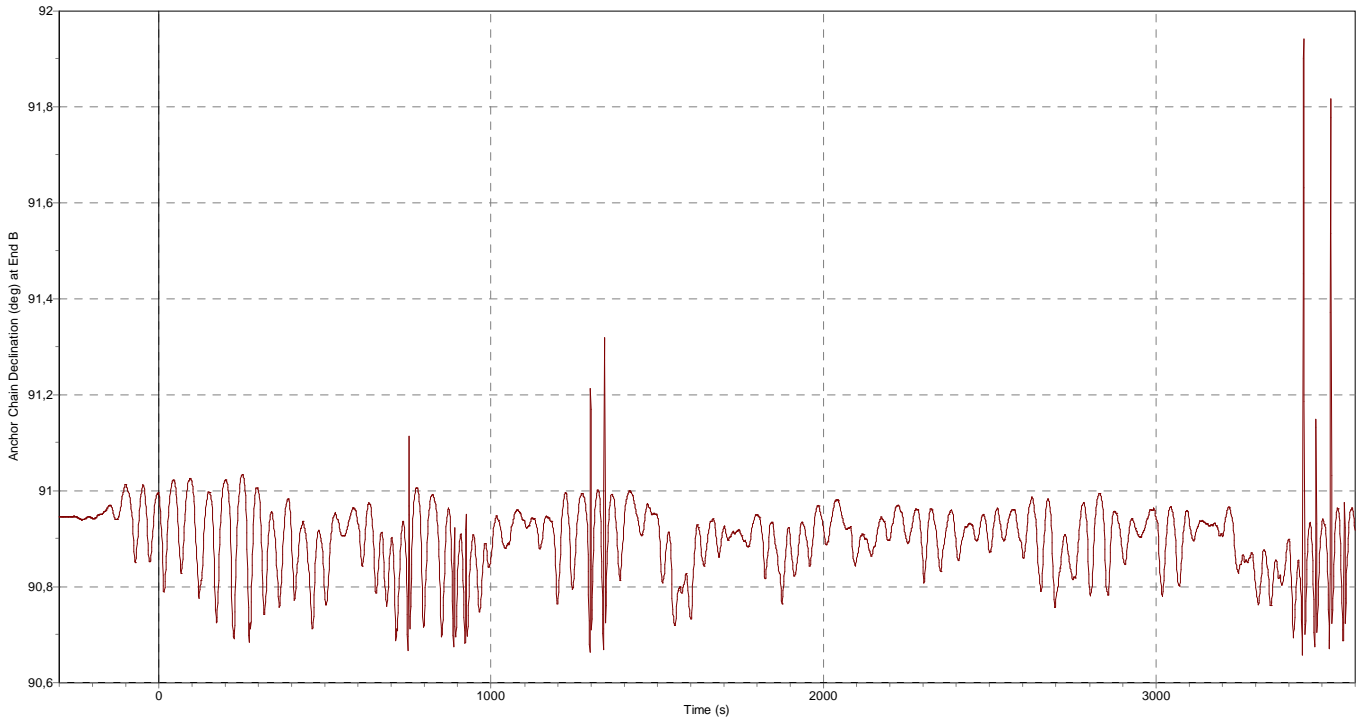
# ANNEXE 3

OrcaFlex 9.3a: CASE25\_a.sim (modified 1.08 on 07/06/2010 by OrcaFlex 9.3a)  
Range Graph: Anchor Chain Seabed Clearance, over Whole Simulation

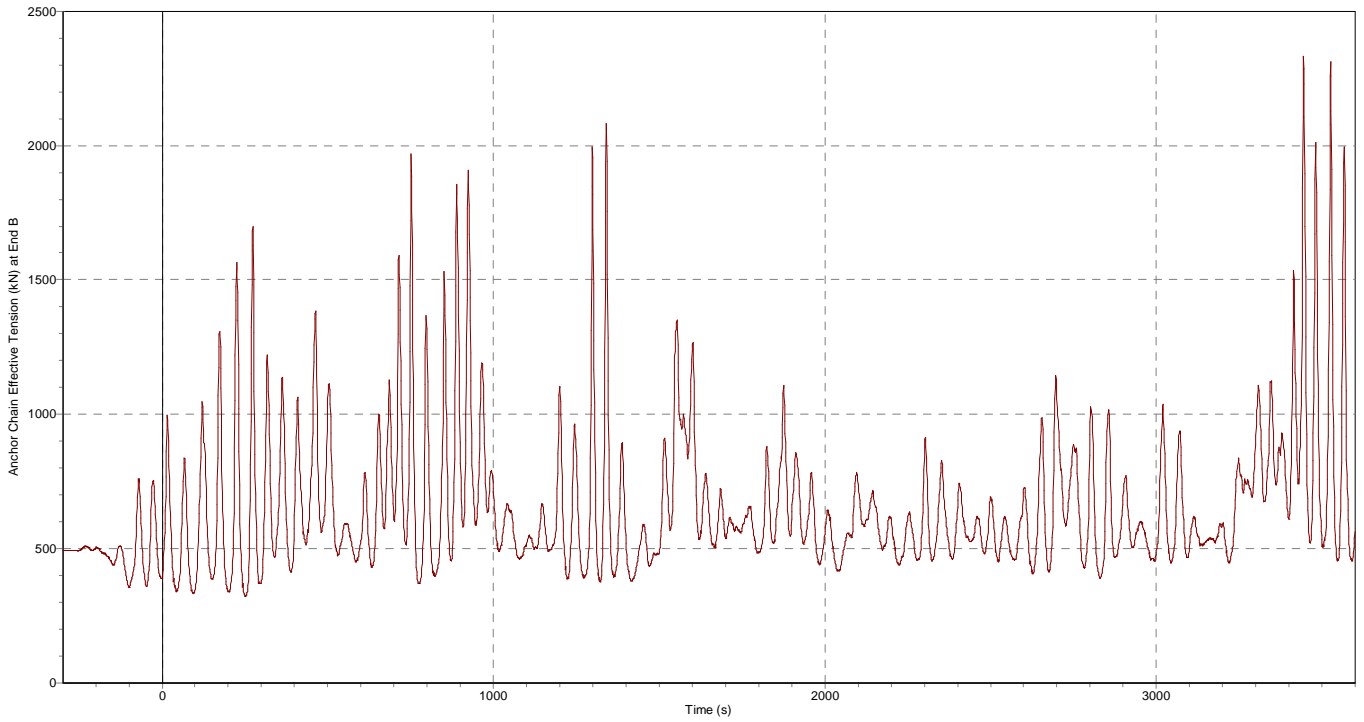


Case 25.1

OrcaFlex 9.3a: CASE25.1\_a.sim (modified 23.34 on 06/06/2010 by OrcaFlex 9.3a)  
Time History: Anchor Chain Declination at End B

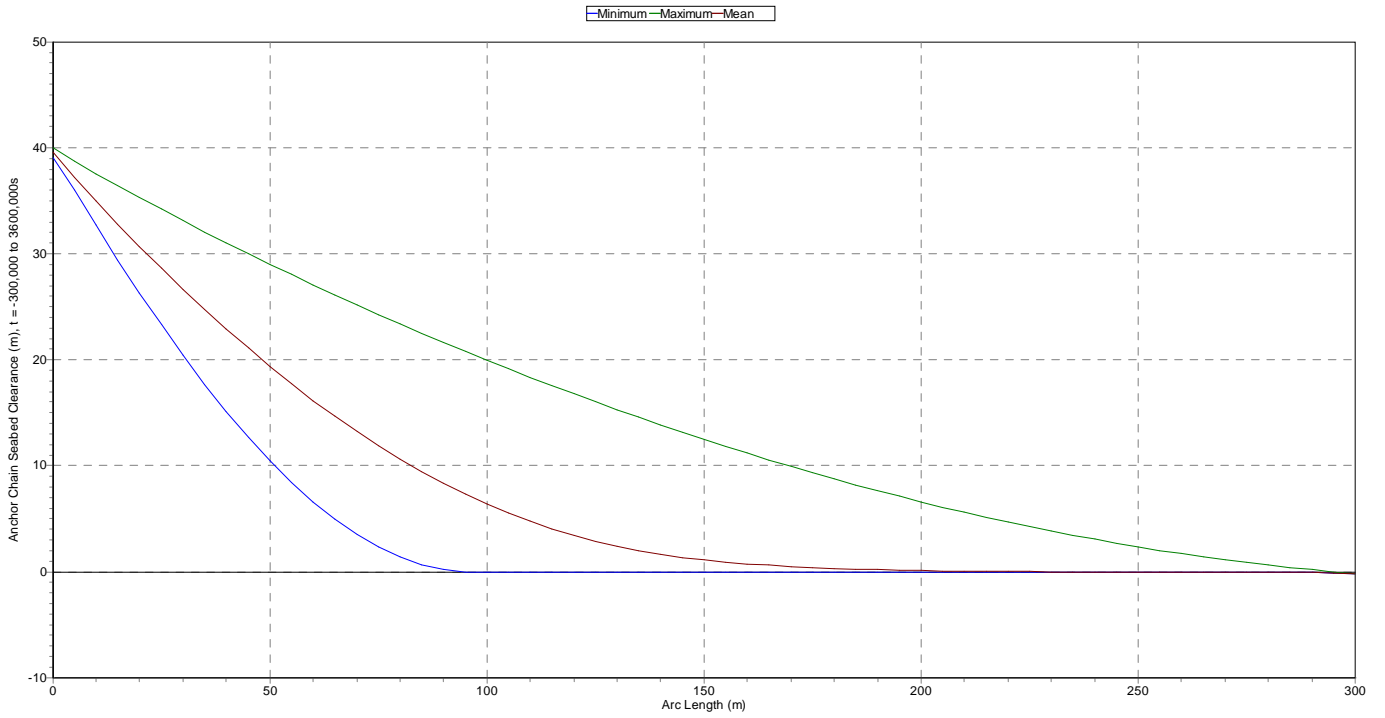


OrcaFlex 9.3a: CASE25.1\_a.sim (modified 23.34 on 06/06/2010 by OrcaFlex 9.3a)  
Time History: Anchor Chain Effective Tension at End B



# ANNEXE 3

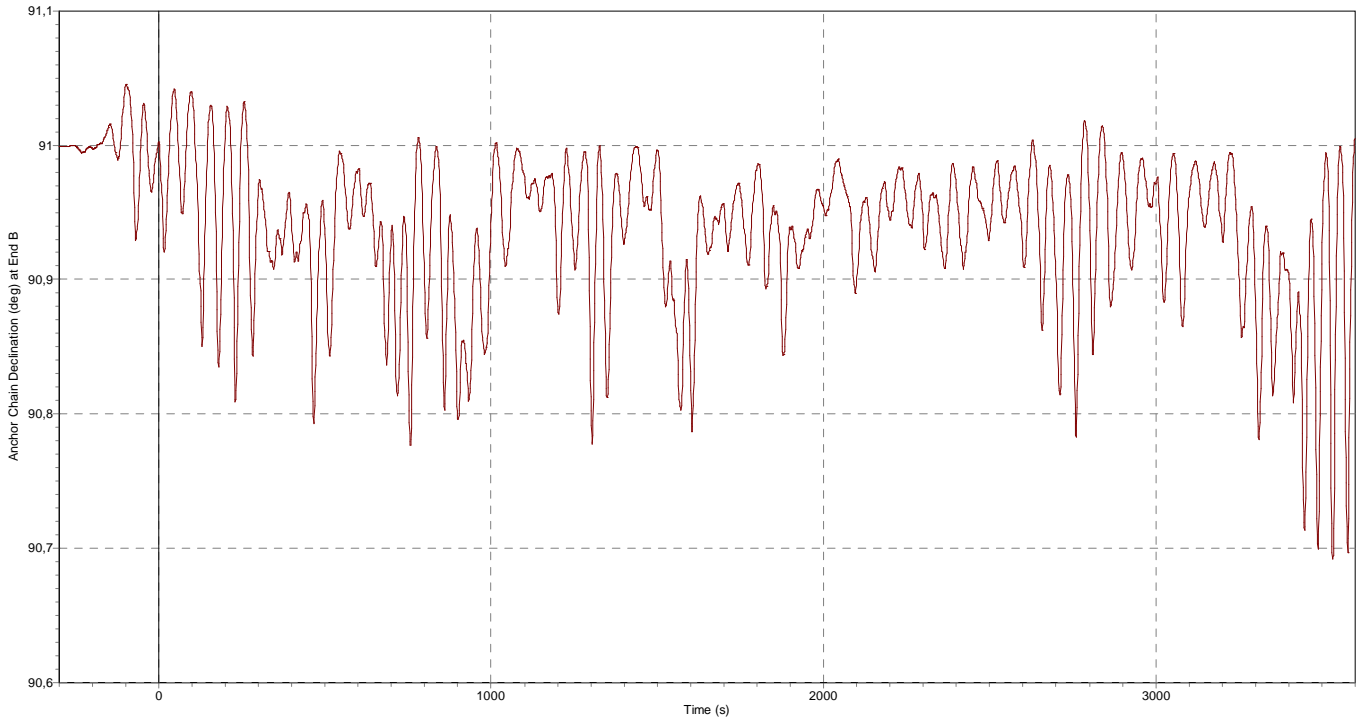
OrcaFlex 9.3a: CASE25\_1\_a.sim (modified 23.34 on 06/06/2010 by OrcaFlex 9.3a)  
Range Graph: Anchor Chain Seabed Clearance, over Whole Simulation



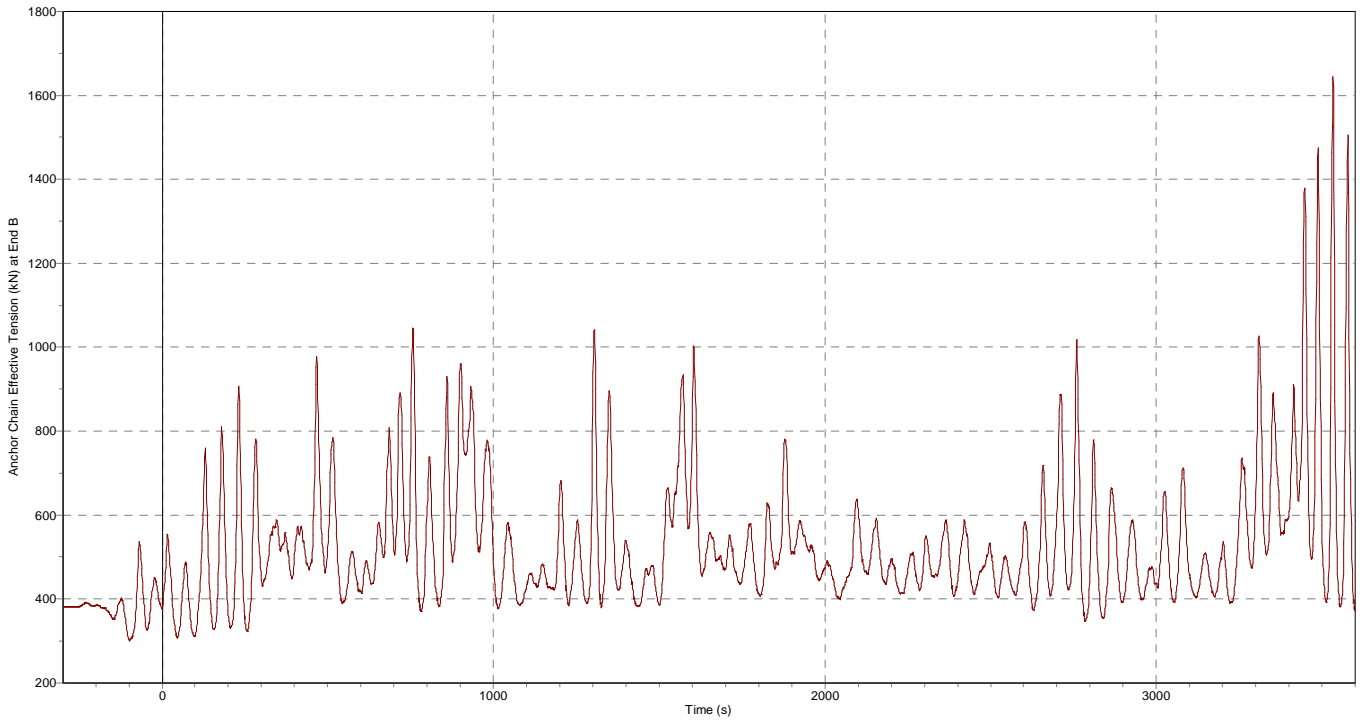
ANNEXE 3

Case 25.2

OrcaFlex 9.3a: CASE25.2\_a.sim (modified 1.07 on 07/06/2010 by OrcaFlex 9.3a)  
Time History: Anchor Chain Declination at End B

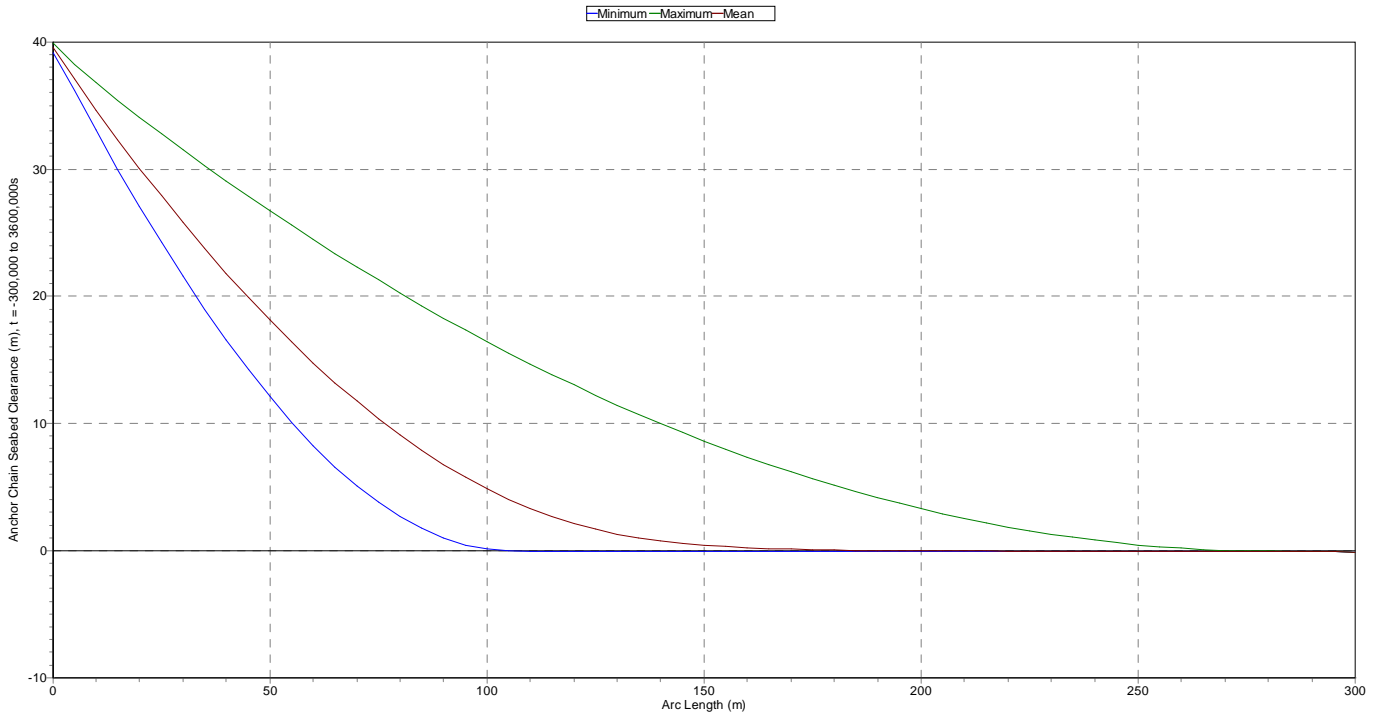


OrcaFlex 9.3a: CASE25.2\_a.sim (modified 1.07 on 07/06/2010 by OrcaFlex 9.3a)  
Time History: Anchor Chain Effective Tension at End B



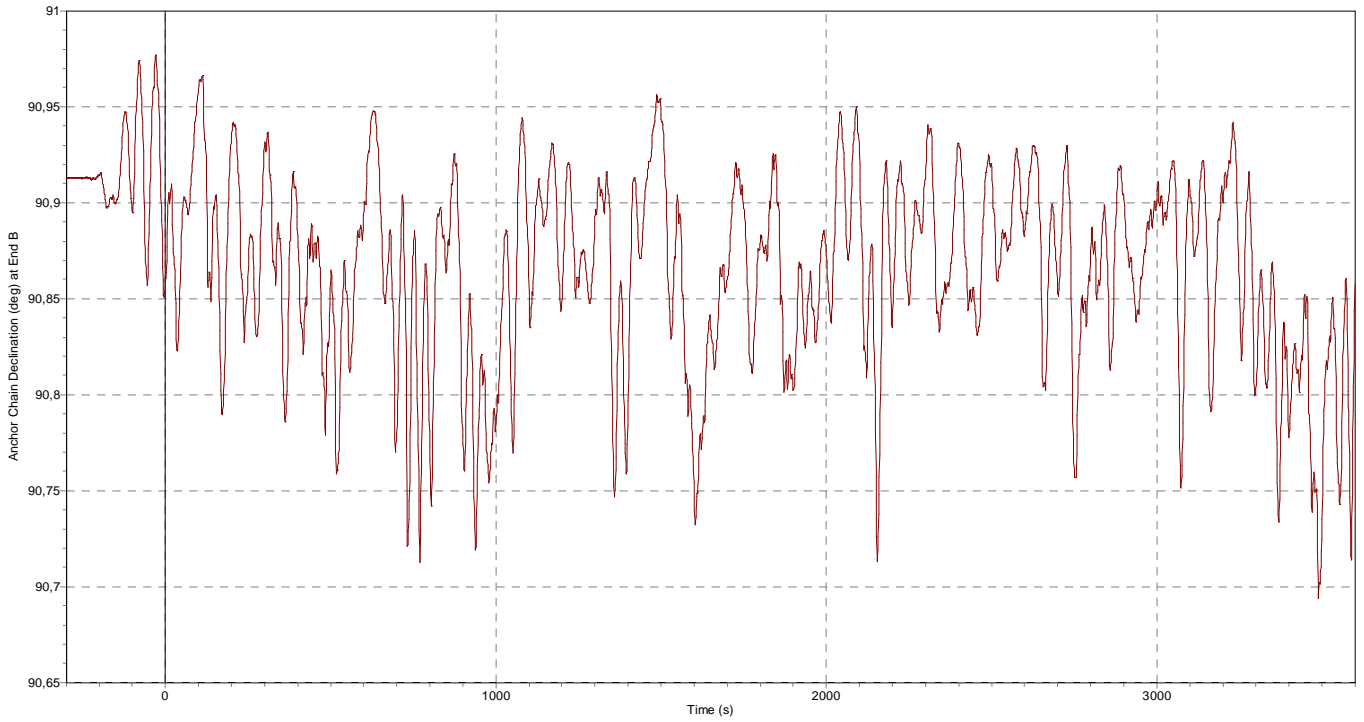
# ANNEXE 3

OrcaFlex 9.3a: CASE25.2\_a.sim (modified 1.07 on 07/06/2010 by OrcaFlex 9.3a)  
Range Graph: Anchor Chain Seabed Clearance, over Whole Simulation

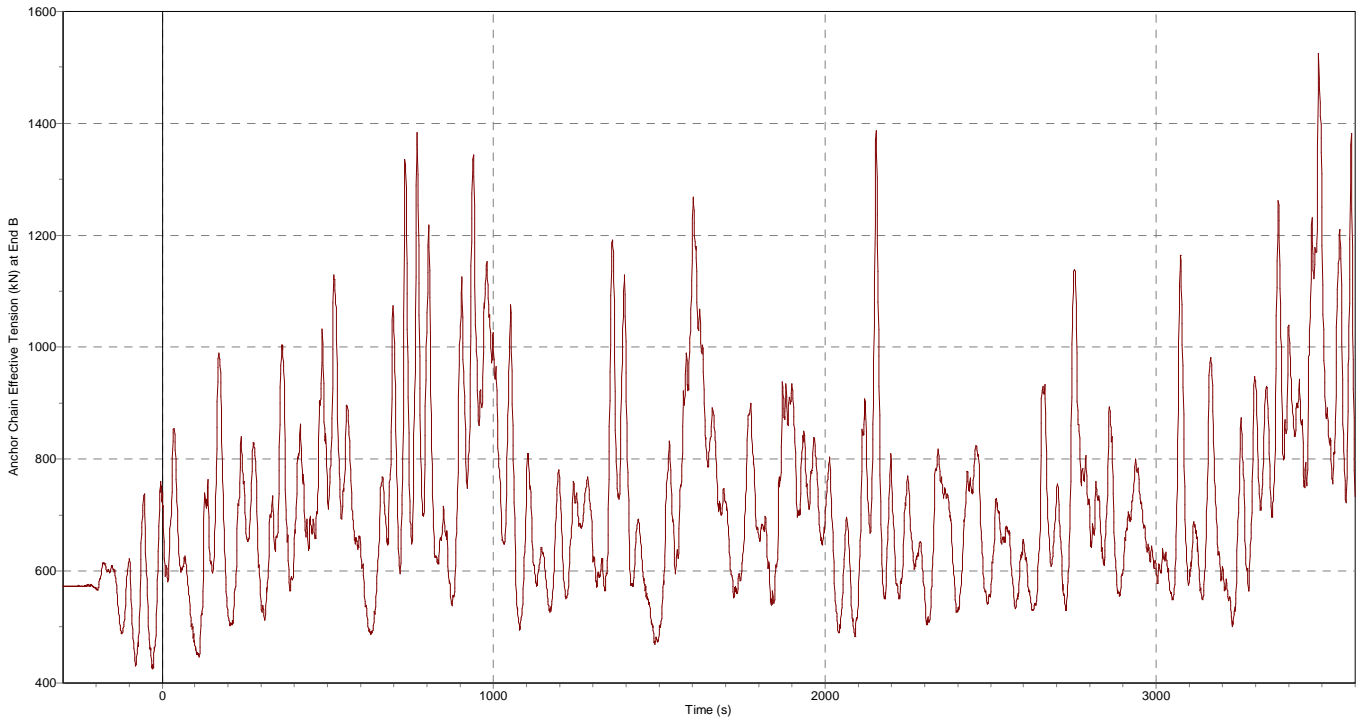


Case 31

OrcaFlex 9.3a: CASE31\_a\_sim (modified 6.01 on 07/06/2010 by OrcaFlex 9.3a)  
Time History: Anchor Chain Declination at End B



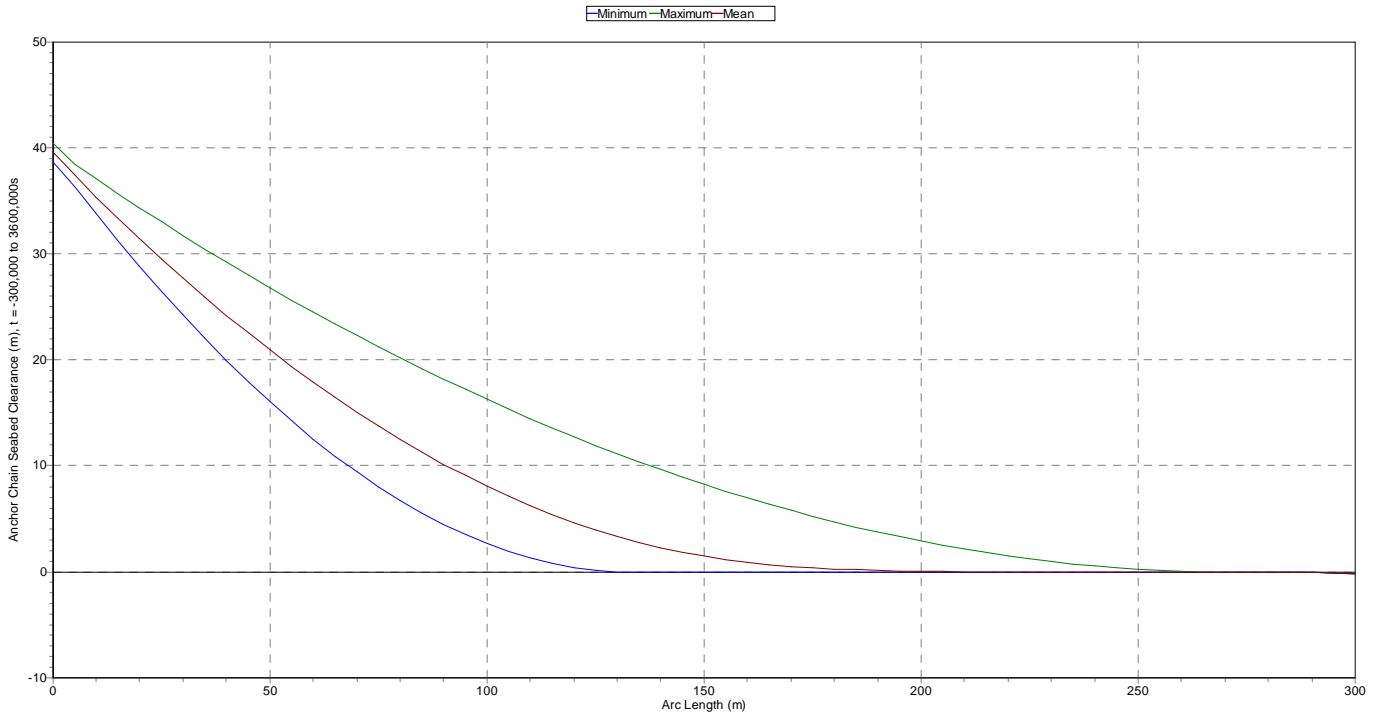
OrcaFlex 9.3a: CASE31\_a\_sim (modified 6.01 on 07/06/2010 by OrcaFlex 9.3a)  
Time History: Anchor Chain Effective Tension at End B





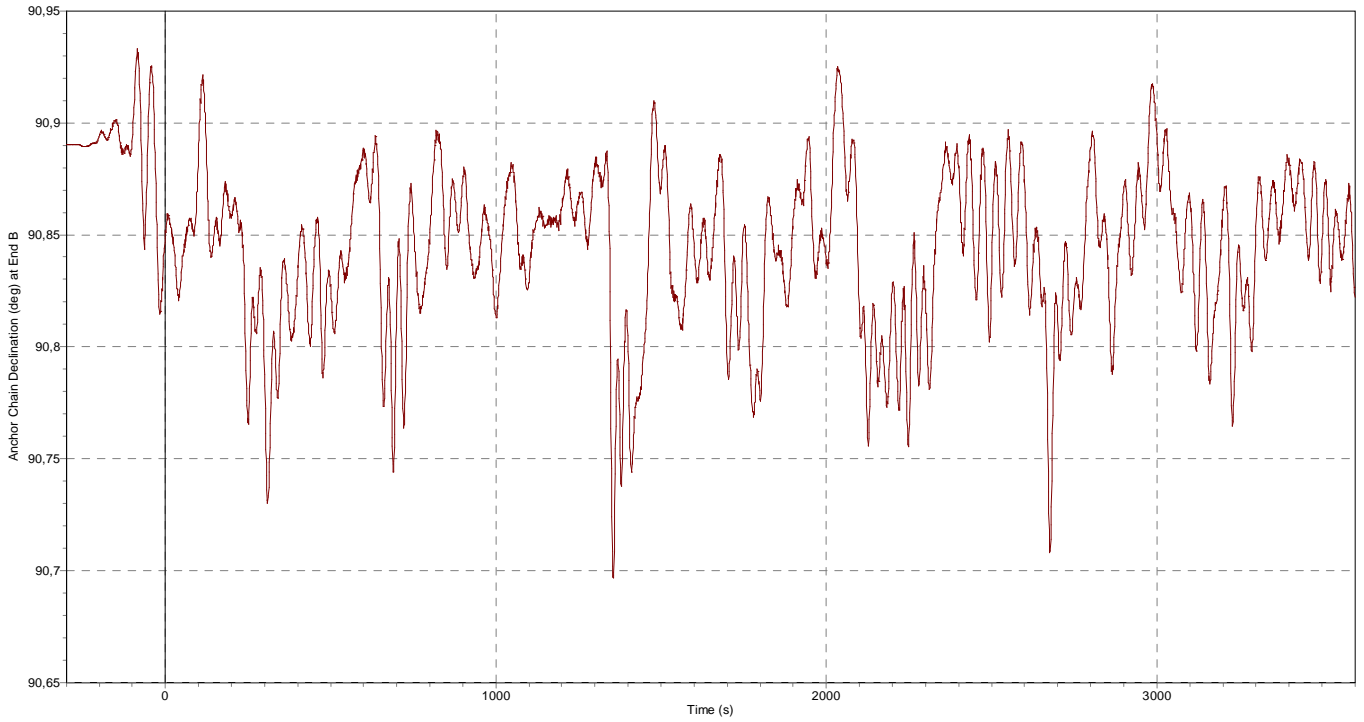
# ANNEXE 3

OrcaFlex 9.3a: CASE31\_a.sim (modified 6.01 on 07/06/2010 by OrcaFlex 9.3a)  
Range Graph: Anchor Chain Seabed Clearance, over Whole Simulation

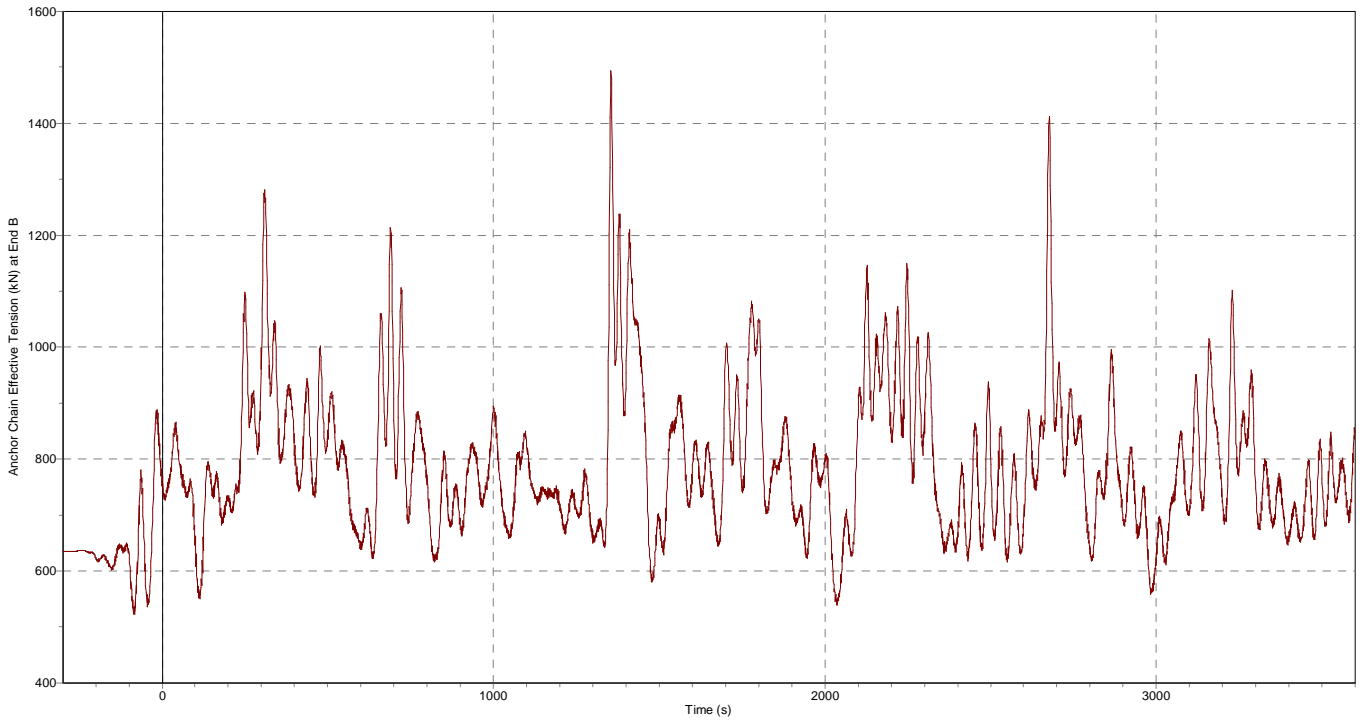


Case 31.1

OrcaFlex 9.3a: CASE31.1\_a.sim (modified 2.47 on 07/06/2010 by OrcaFlex 9.3a)  
Time History: Anchor Chain Declination at End B

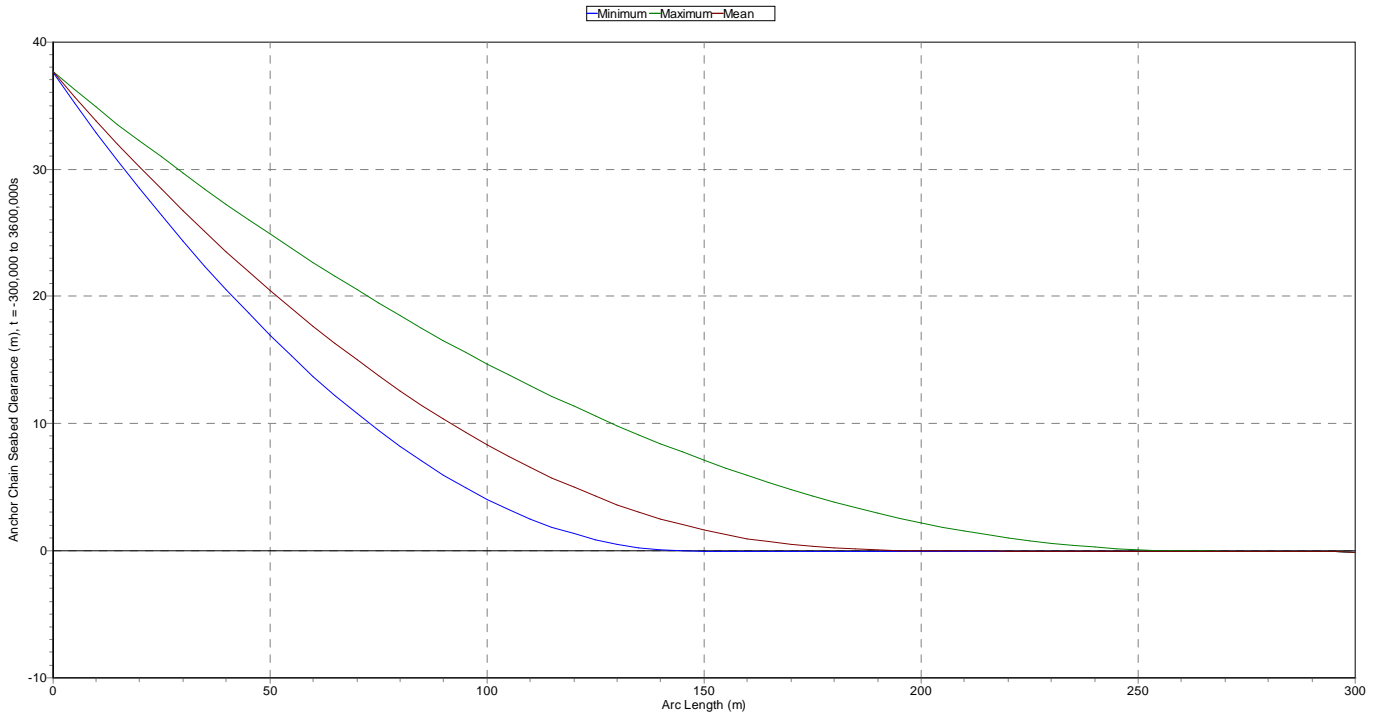


OrcaFlex 9.3a: CASE31.1\_a.sim (modified 2.47 on 07/06/2010 by OrcaFlex 9.3a)  
Time History: Anchor Chain Effective Tension at End B



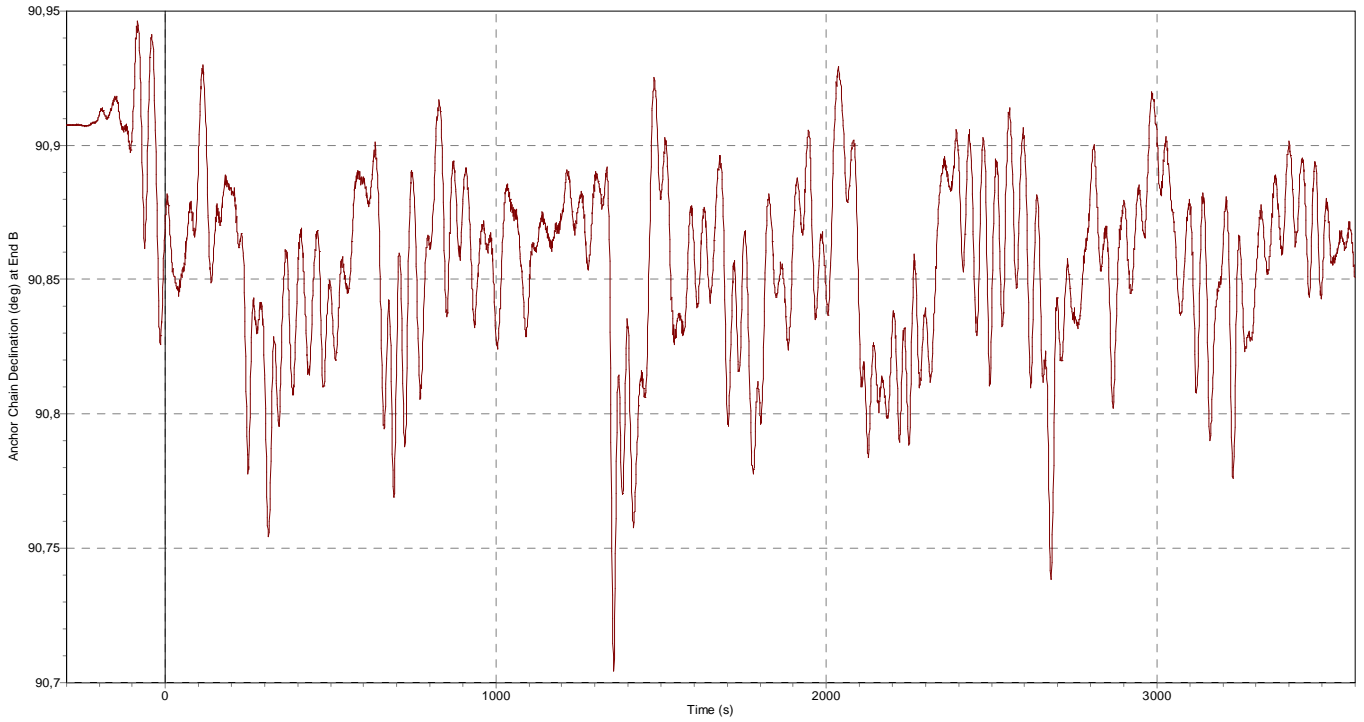
# ANNEXE 3

OrcaFlex 9.3a: CASE31.1\_a.sim (modified 2.47 on 07/06/2010 by OrcaFlex 9.3a)  
Range Graph: Anchor Chain Seabed Clearance, over Whole Simulation

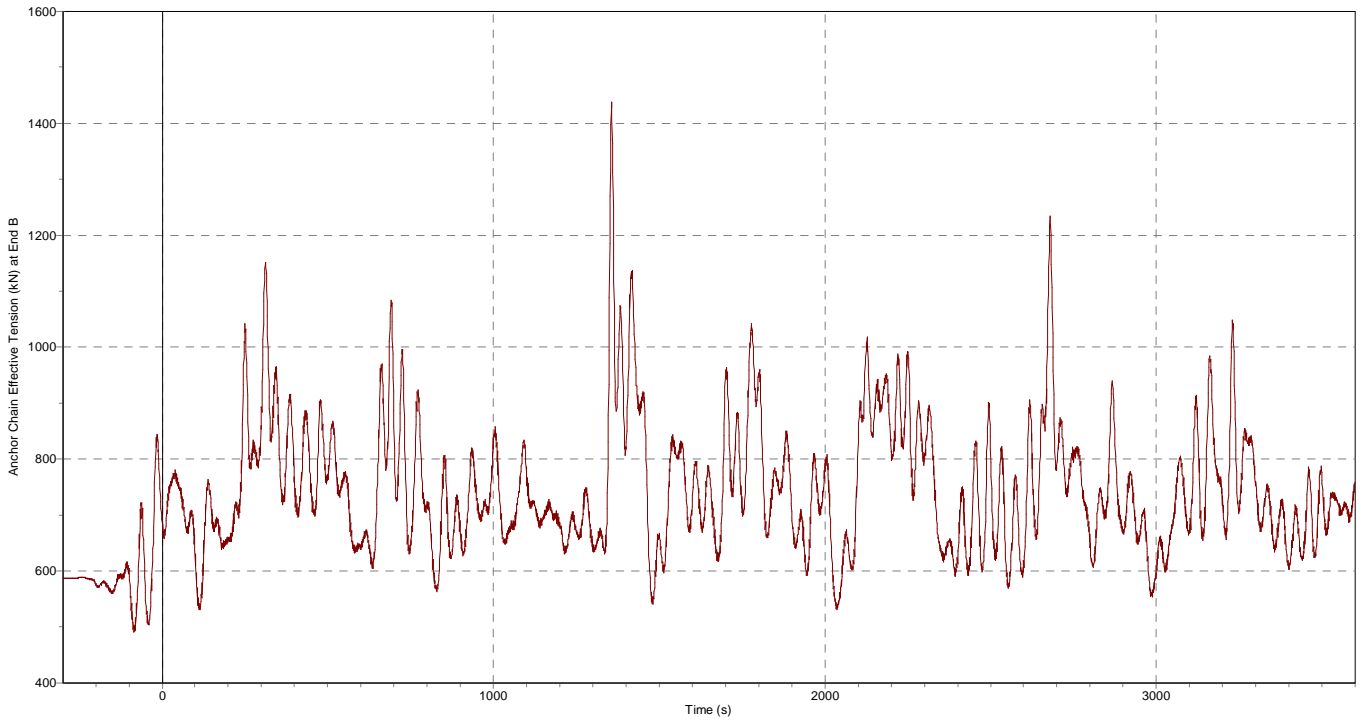


# Case 31.2

OrcaFlex 9.3a: CASE31\_2\_a.sim (modified 2.48 on 07/06/2010 by OrcaFlex 9.3a)  
Time History: Anchor Chain Declination at End B

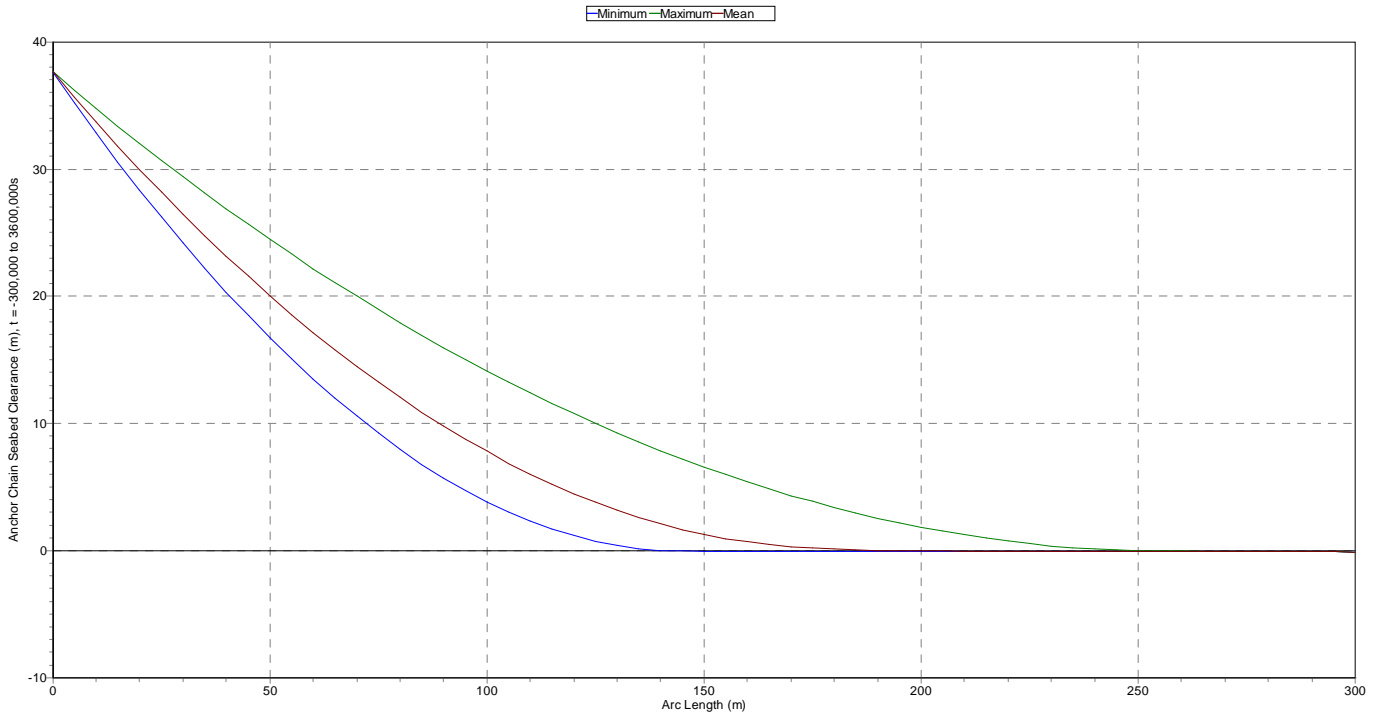


OrcaFlex 9.3a: CASE31\_2\_a.sim (modified 2.48 on 07/06/2010 by OrcaFlex 9.3a)  
Time History: Anchor Chain Effective Tension at End B



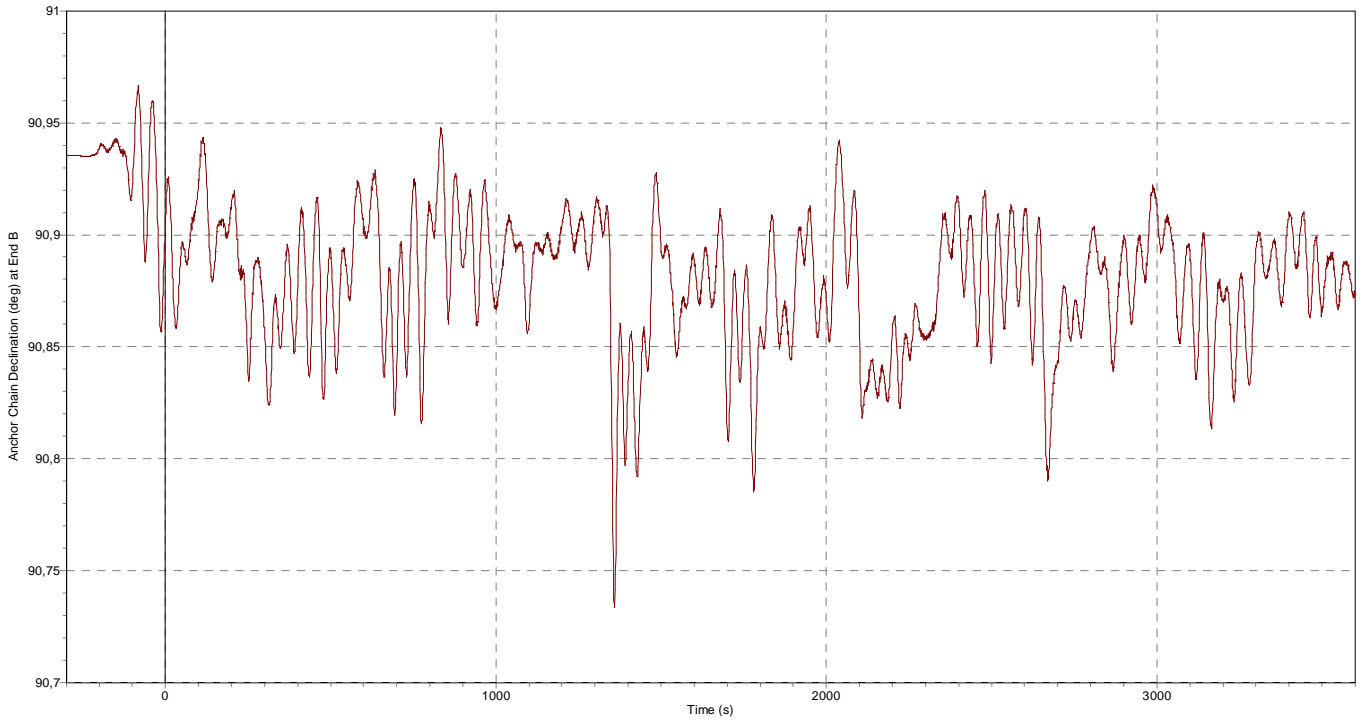
# ANNEXE 3

OrcaFlex 9.3a: CASE31.2\_a.sim (modified 2.48 on 07/06/2010 by OrcaFlex 9.3a)  
Range Graph: Anchor Chain Seabed Clearance, over Whole Simulation

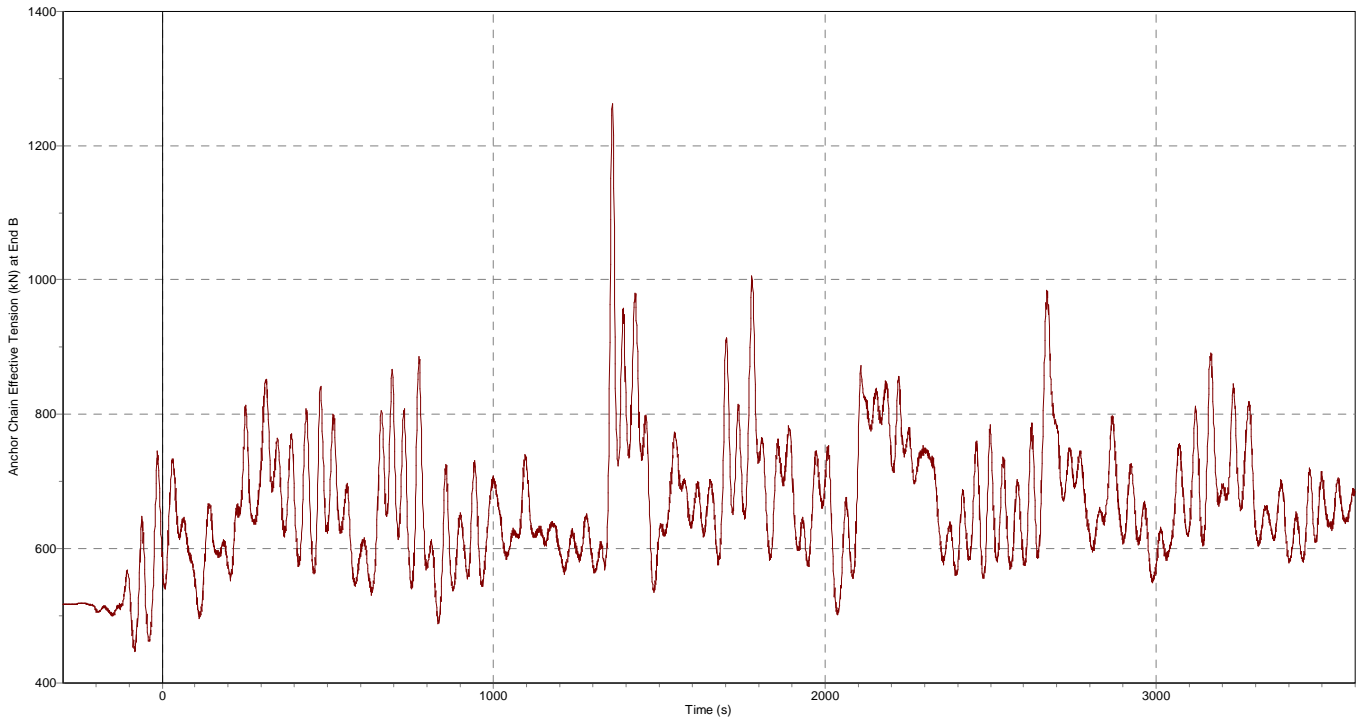


# Case 31.3

OrcaFlex 9.3a: CASE31.3\_a.sim (modified 4.28 on 07/06/2010 by OrcaFlex 9.3a)  
Time History: Anchor Chain Declination at End B

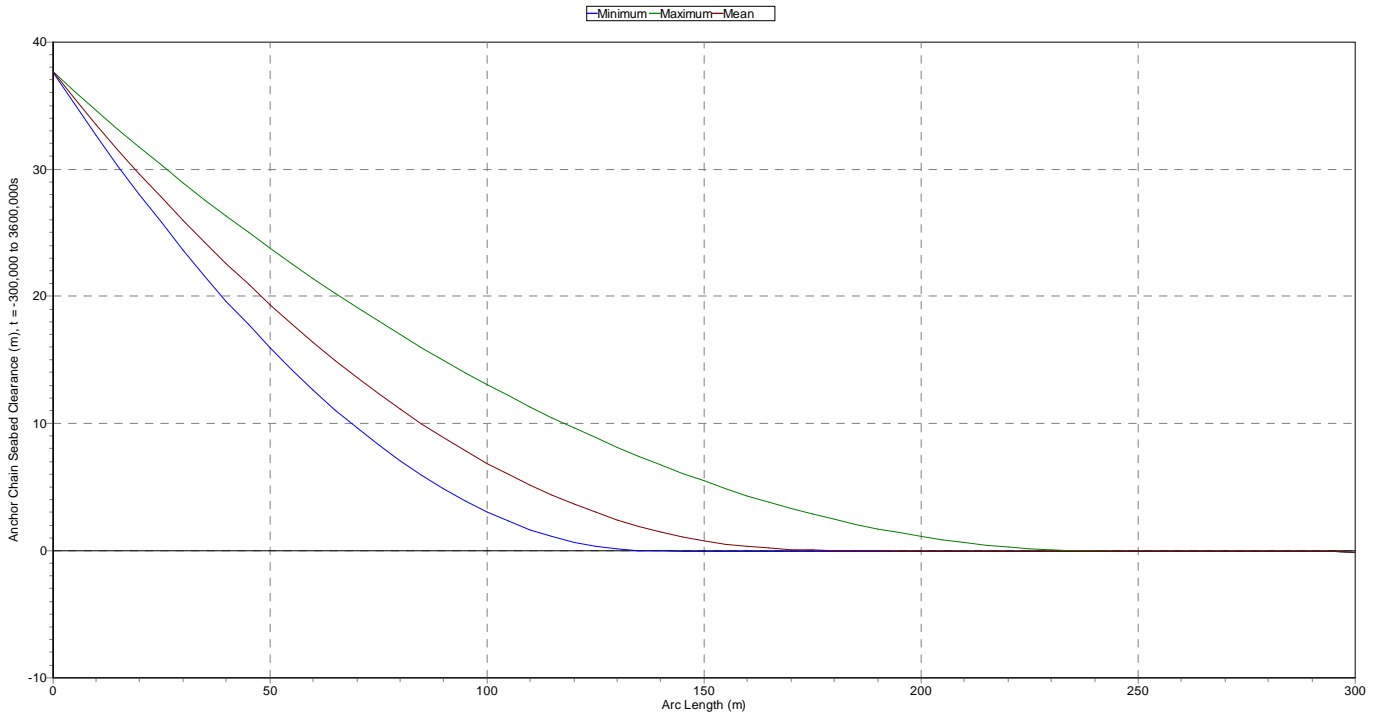


OrcaFlex 9.3a: CASE31.3\_a.sim (modified 4.28 on 07/06/2010 by OrcaFlex 9.3a)  
Time History: Anchor Chain Effective Tension at End B



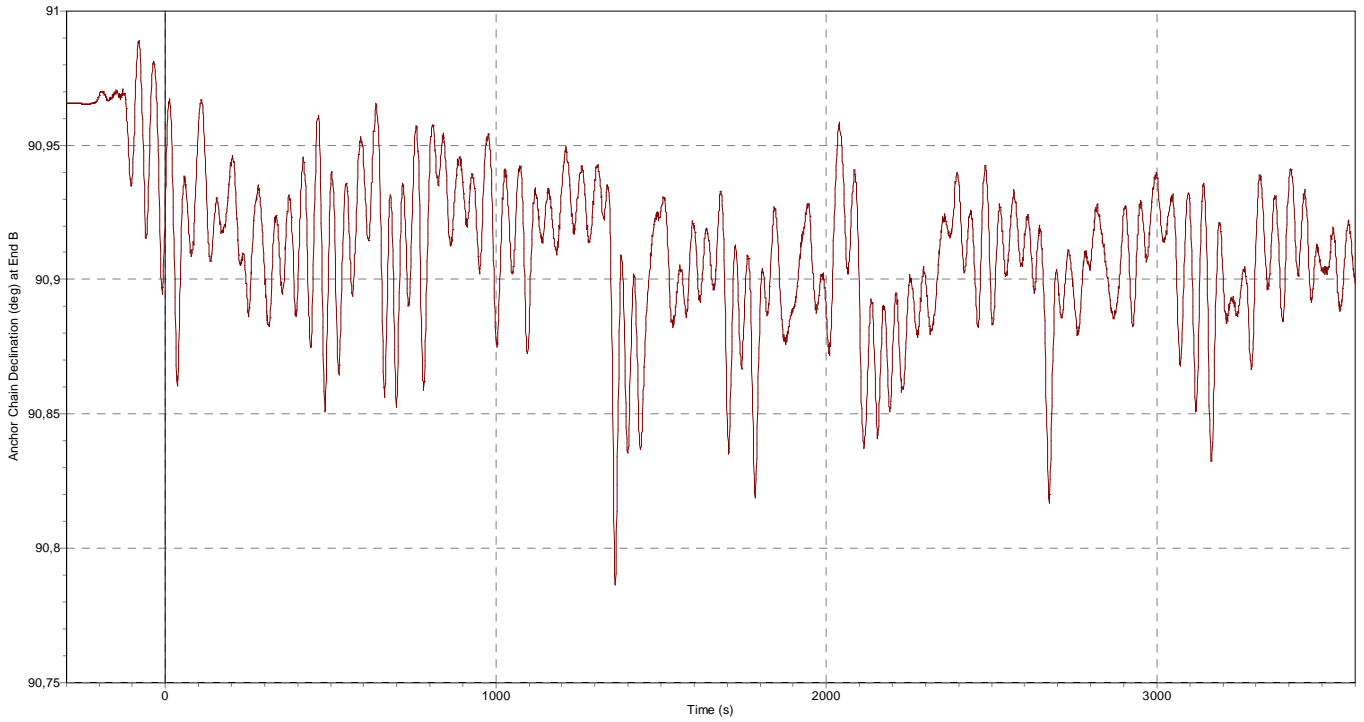
# ANNEXE 3

OrcaFlex 9.3a: CASE31.3\_a.sim (modified 4.28 on 07/06/2010 by OrcaFlex 9.3a)  
Range Graph: Anchor Chain Seabed Clearance, over Whole Simulation

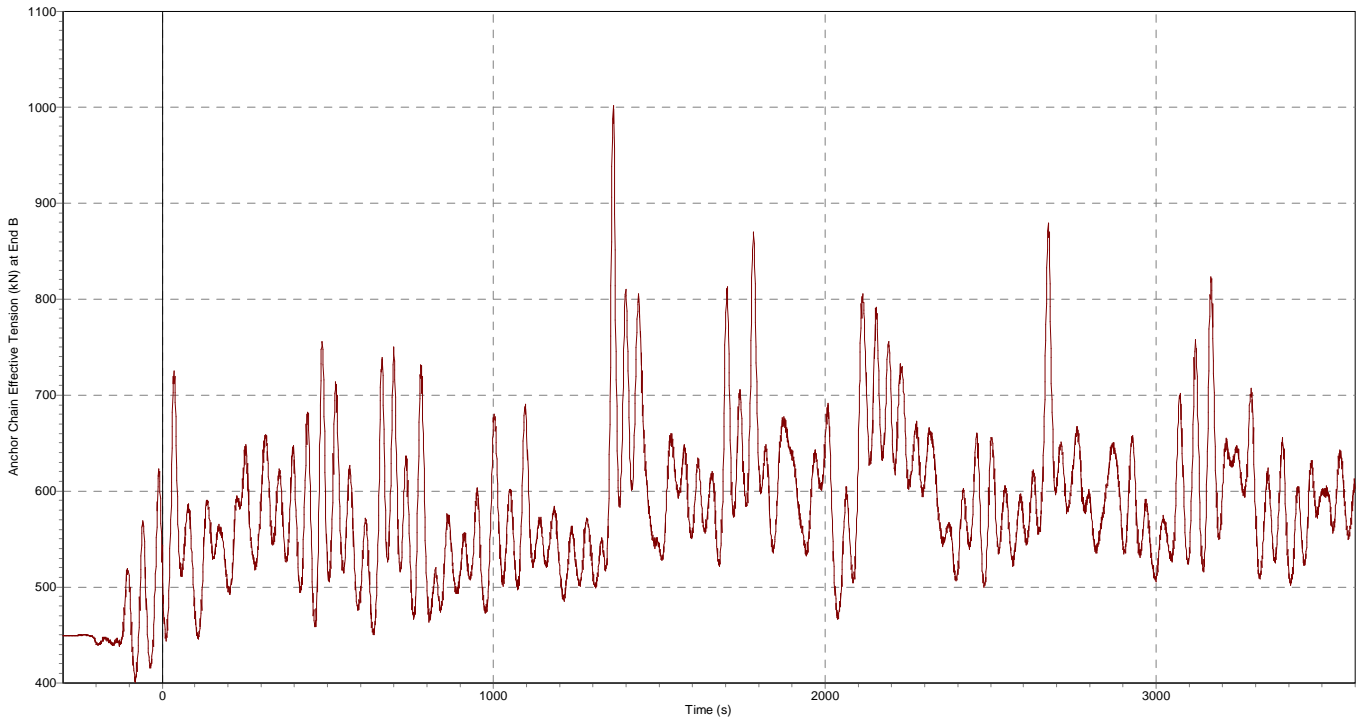


Case 31.4

OrcaFlex 9.3a: CASE31.4\_a.sim (modified 4.30 on 07/06/2010 by OrcaFlex 9.3a)  
Time History: Anchor Chain Declination at End B



OrcaFlex 9.3a: CASE31.4\_a.sim (modified 4.30 on 07/06/2010 by OrcaFlex 9.3a)  
Time History: Anchor Chain Effective Tension at End B





# ANNEXE 3

OrcaFlex 9.3a: CASE31.4\_a.sim (modified 4.30 on 07/06/2010 by OrcaFlex 9.3a)  
Range Graph: Anchor Chain Seabed Clearance, over Whole Simulation

