

# TRAITEMENT DES DONNÉES SYSIF

**Analyse des données issues des capteurs de mouvement/  
Comparaison avec des simulations numériques**

## Fiche documentaire

<b>Titre du rapport :</b> Traitement des données Sysif Analyse des données issues des capteurs de mouvement	
<b>Référence interne :</b> REM/RDT/CSM R18-217  <b>Diffusion :</b> X libre (internet)  <input type="checkbox"/> restreinte (intranet) – date de levée d’embargo : AAA/MM/JJ  <input type="checkbox"/> interdite (confidentielle) – date de levée de confidentialité : AAA/MM/JJ	<b>Date de publication :</b> 2018/12/21  <b>Version :</b> 1.0.0  <b>Référence de l’illustration de couverture</b> Crédit photo/titre/date  <b>Langue(s) :</b> F
<b>Résumé/ Abstract :</b>	
<b>Mots-clés/ Key words :</b>	
Comment citer ce document :	
Disponibilité des données de la recherche :	
DOI :	

<b>Commanditaire du rapport :</b>	
<b>Nom / référence du contrat :</b>	
<input type="checkbox"/> Rapport intermédiaire (réf. bibliographique : XXX) <input type="checkbox"/> Rapport définitif (réf. interne <b>du rapport intermédiaire</b> : R.DEP/UNIT/LABO AN- NUM/ID ARCHIMER)	
Projets dans lesquels ce rapport s'inscrit (programme européen, campagne, etc.) :	
<b>Auteur(s) / adresse mail</b>	<b>Affiliation / Direction / Service, laboratoire</b>
Gilbert DAMY gdamy@ifremer.fr	REM/RDT/CSM
auteur 3	
auteur 4	
Encadrement(s) :	
Destinataire :	
Validé par :	

## Sommaire

1 Introduction .....	5
2 Instrumentation et fichiers de données disponibles .....	6
2.1 Liste des instruments et fichiers .....	6
2.2 Commentaires sur la précision des mesures .....	7
2.2.1 Positions navire.....	7
2.2.2 Position du lest Sysif .....	8
2.2.3 Mouvement du lest Sysif .....	9
3 Modélisation numérique.....	12
3.1 Ajustement de la pesée.....	12
3.2 Réponse aux variations de la longueur filée .....	14
3.3 Réponse aux variations de la longueur filée et de la vitesse du navire .....	17
3.4 Simulation du système lest-flûte .....	20
3.4.1 Reconstitution du mouvement du lest.....	20
3.4.2 Simulation DeepLines .....	27
4 Conclusions .....	32

# 1 Introduction

Le traitement des données acquises par le système SYSIF nécessite une reconstitution aussi précise que possible (typiquement 0.1 à 0.2 m) de la géométrie de la flûte sismique multi-traces remorquée près du fond. Cette reconstitution se base sur les mesures des 52 groupes de capteurs (micro centrales d'attitude de type MEMS comprenant un magnétomètre 3 composantes et un accéléromètre 3 composantes) répartis le long de la flûte, et permettant d'accéder à l'angle de tangage. La prise en compte de ces données permet d'améliorer considérablement la netteté de l'imagerie sismique mais laisse encore des zones floues.

Ce rapport présente une analyse du comportement dynamique global du système remorqué, visant à optimiser la reconstitution de la géométrie de la flûte.

L'étude se base sur les données acquises sur le profil PL01PR02B (plongée 1, profil 2B) enregistré le 06-Sep-2015 au cours de la campagne GHASS en mer Noire.

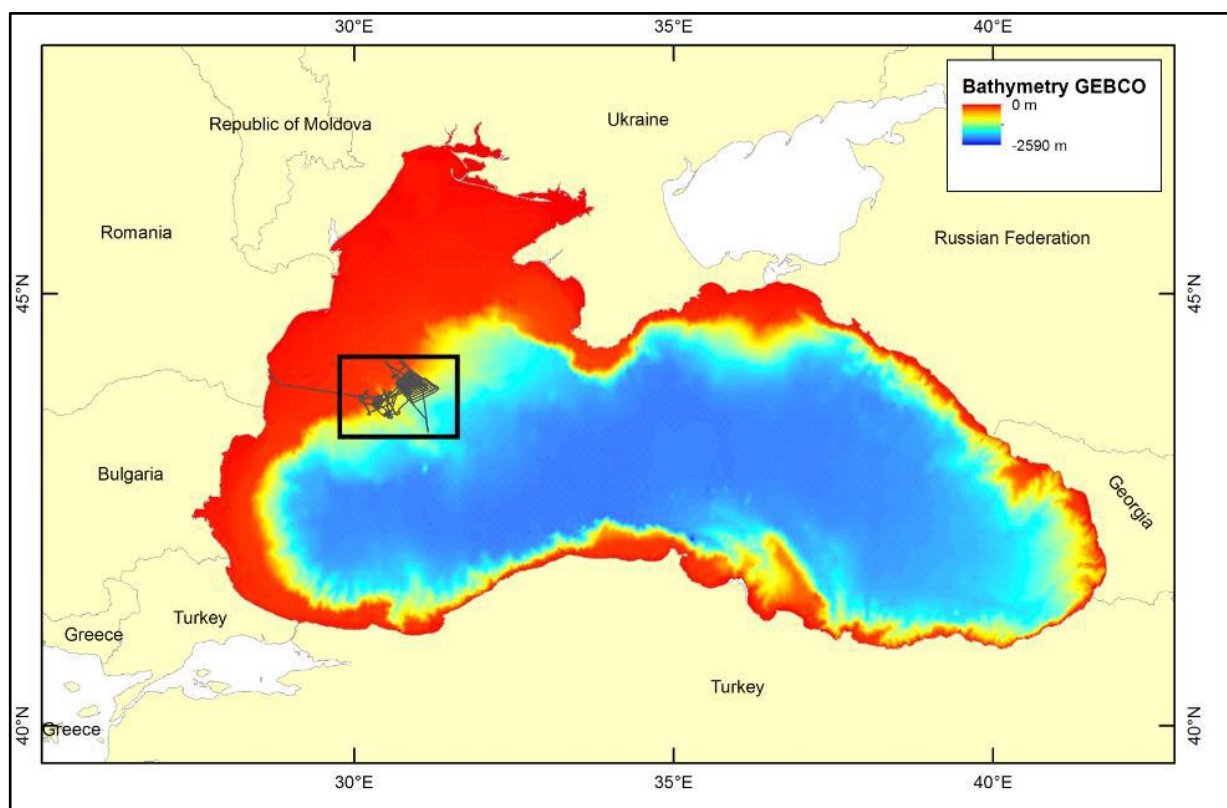


Figure 1

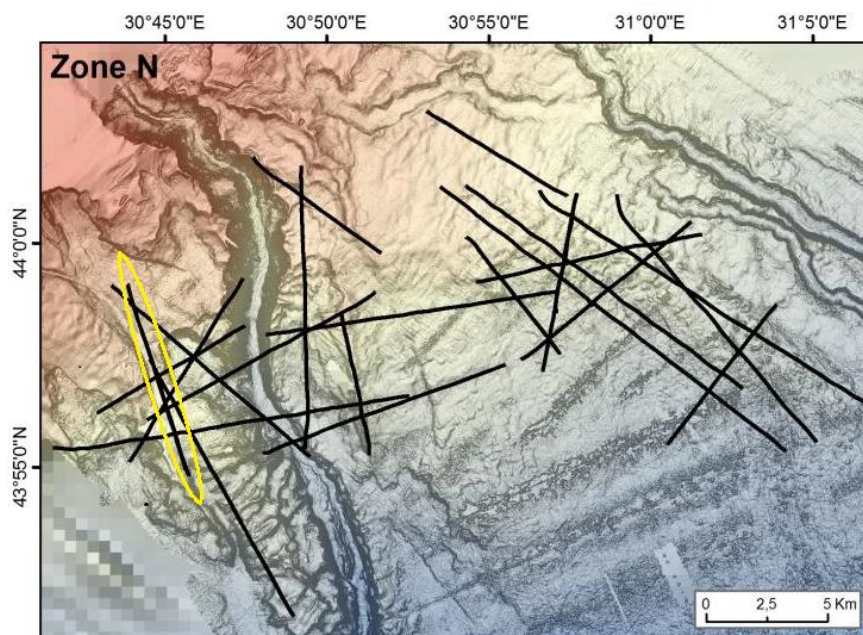


Figure 2 Implantation du profil 2B

## 2 Instrumentation et fichiers de données disponibles

### 2.1 Liste des instruments et fichiers

Les données disponibles sont enregistrées dans 7 fichiers au format Matlab

- la position (Long, Lat) du navire : **positionNavire.mat**
- la position (Long, Lat) de la base SYSIF (issue du positionnement acoustique Posidonia) : **positionSysif.mat**
- les mesures treuil (longueur filée) : **treuil.mat**
- l'attitude de la base SYSIF (roulis, tangage, cap, accélération verticale) : **donneesRPY.mat**
- l'immersion de la base SYSIF-(issue d'un capteur de pression) : **immersion.mat**
- l'altitude par rapport au fond : **altimetre.mat**
- les données accélérométriques des 52 capteurs : **MEMS.mat**

Ces fichiers sont échantillonnés à des fréquences différentes et couvrent, à quelques dizaines de secondes près, la même période temporelle.

	N	dtm(s)
treuil	18207	0.20
altimètre	9629	0.38
immersion	2123	1.71
RPY	12137	0.30
MEMS	1661	2.20
PositionNavire	3641	1.00
PositionSysif	411	8.86

Tableau 1

N : nombre d'éléments dans le fichier ; dtm : pas d'échantillonnage moyen

Le profil contient 1661 tirs (=N MEMS) et dure un peu plus d'une heure.

## 2.2 Commentaires sur la précision des mesures

La position du lest Sysif (équipé du transducteur TBF) et les capteurs d'attitude répartis **suffisent en principe à reconstituer la position et la géométrie de la flûte.**

Les mesures d'attitude réparties sont toutefois affectées d'un bruit important et probablement de biais.

### 2.2.1 Positions navire

La figure 1 montre la vitesse navire, calculée à partir de la différence entre 2 positions successives : composante X (vers l'Est), composante Y (vers le Nord), module de la vitesse. Ces tracés montrent une quantification de l'ordre de 0.1m/s (un peu irrégulière car la cadence d'acquisition fluctue légèrement autour de 1 s), ce qui est cohérent avec les valeurs de Longitude et Latitude qui sont données en degrés avec 6 décimales, soit une résolution décimétrique.

Sur la courbe du module de la vitesse, est superposé (en vert) le résultat d'un lissage, (par une fenêtre de Hamming sur 10 s).

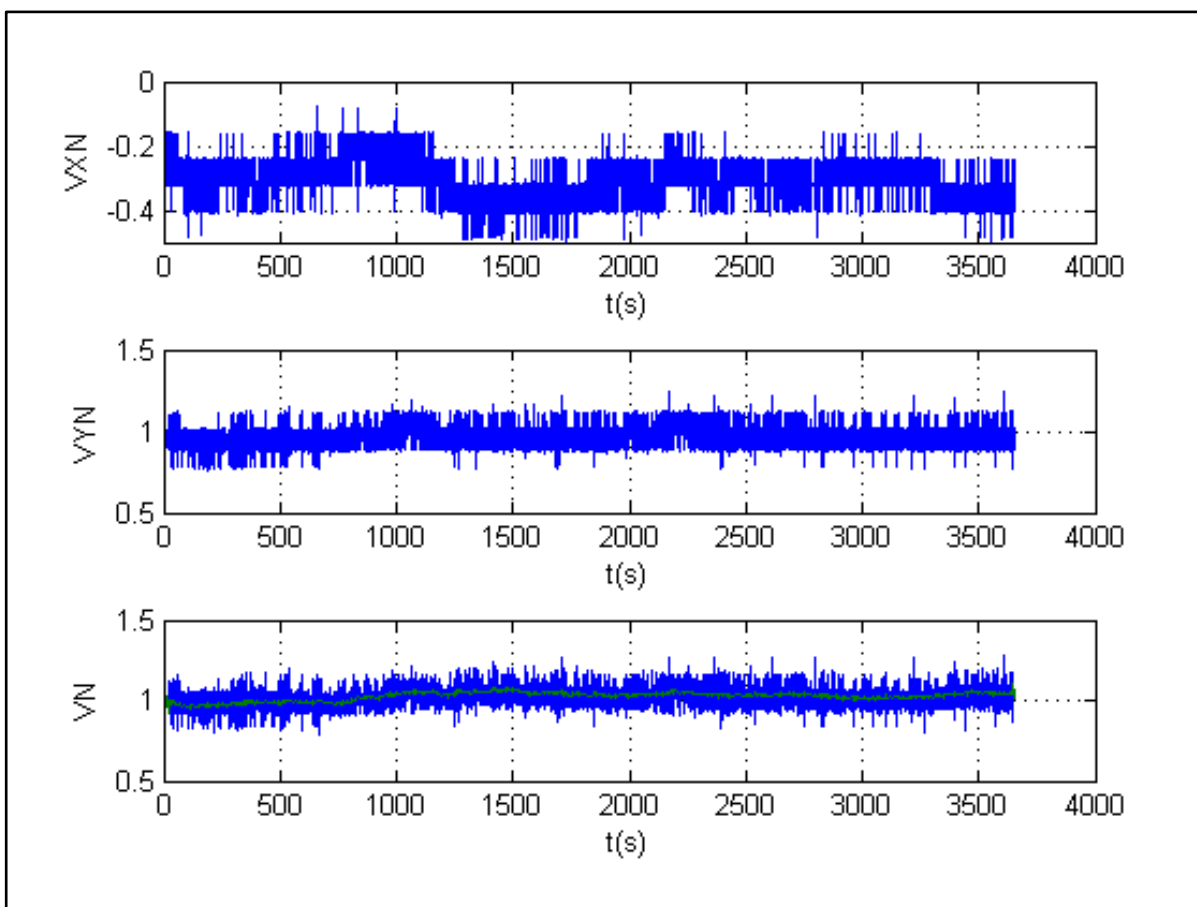


Figure 3 vitesse navire

## 2.2.2 Position du lest Sysif

Les mesures de position (Long, Lat) du lest Sysif sont échantillonnées à une cadence environ 4 fois plus basse que la cadence de tir.

La figure 2, comme précédemment, montre la vitesse Sysif, calculée à partir de la différence entre de 2 positions successives : composante X (vers l'Est), composante Y (vers le Nord), module de la vitesse. Les longitudes et latitudes sont données avec la même résolution décimétrique mais sont visiblement plus bruitées que les positions navire. **Compte tenu de la cadence d'acquisition, l'éventuel contenu aux fréquences de vagues ne peut pas être capturé.**

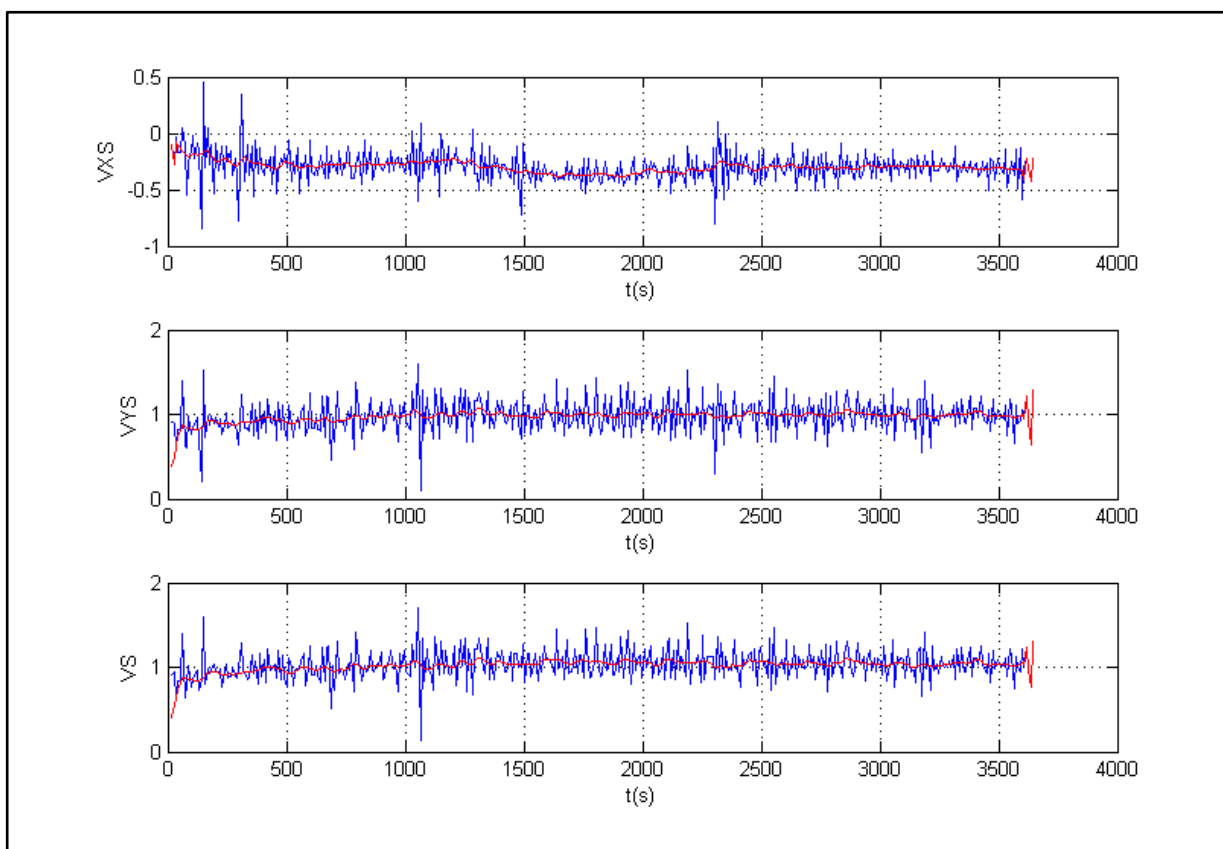


Figure 4 vitesse du lest Sysif

Sur la courbe du module de la vitesse, est superposé (en rouge) le résultat d'un lissage, (par une fenêtre de Hamming sur environ 50 s).

La figure 5 montre le résultat d'une analyse spectrale des 2 signaux de vitesse.

Le spectre de la vitesse du lest Sysif est tronqué vers les fréquences supérieures à 0.06 Hz en raison de la cadence d'échantillonnage. Le spectre de la vitesse navire présente un contenu significatif aux périodes de houle (0.15 à 0.22 Hz). Les mouvements horizontaux du navire (cavalement, embardée) sont bien affectés par la réponse du navire sur houle. **Cette réponse serait mieux mise en évidence si on disposait de l'enregistrement des mouvements de tangage et pilonnement du navire.**



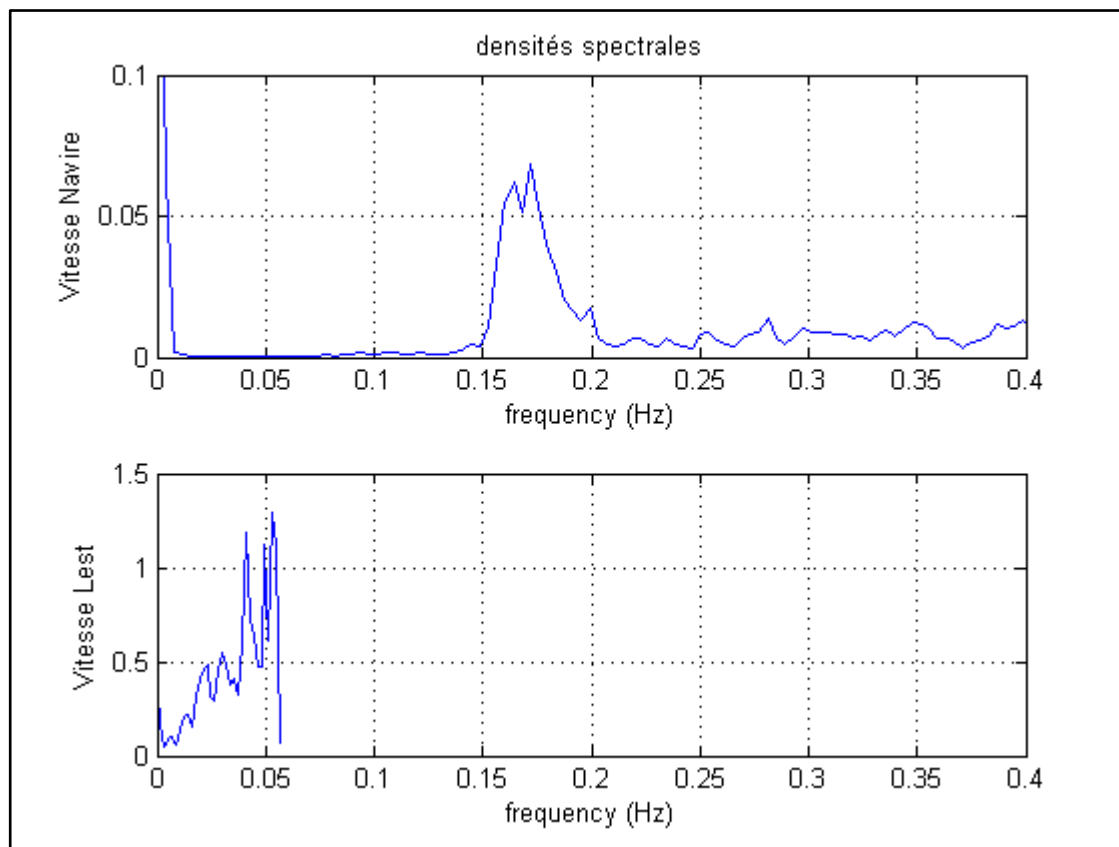


Figure 5

### 2.2.3 Mouvement du lest Sysif

Les mesures de position peuvent être complétées, pour la position selon la verticale, par les mesures d'immersion et/ou les mesures d'attitude de ce lest.

Les mesures de **longueur filée** sont acquises avec un pas d'échantillonnage en temps suffisamment court mais avec une résolution un peu trop grossière : la quantification du signal est de 1 m

La résolution des mesures d'**immersion** semble plus fine mais le pas d'échantillonnage en temps (1.7 s) est trop long.

La figure 6 montre comment la longueur filée a été ajustée pendant l'enregistrement de manière à conserver une altitude comprise entre 40 et 55m au dessus de fond.

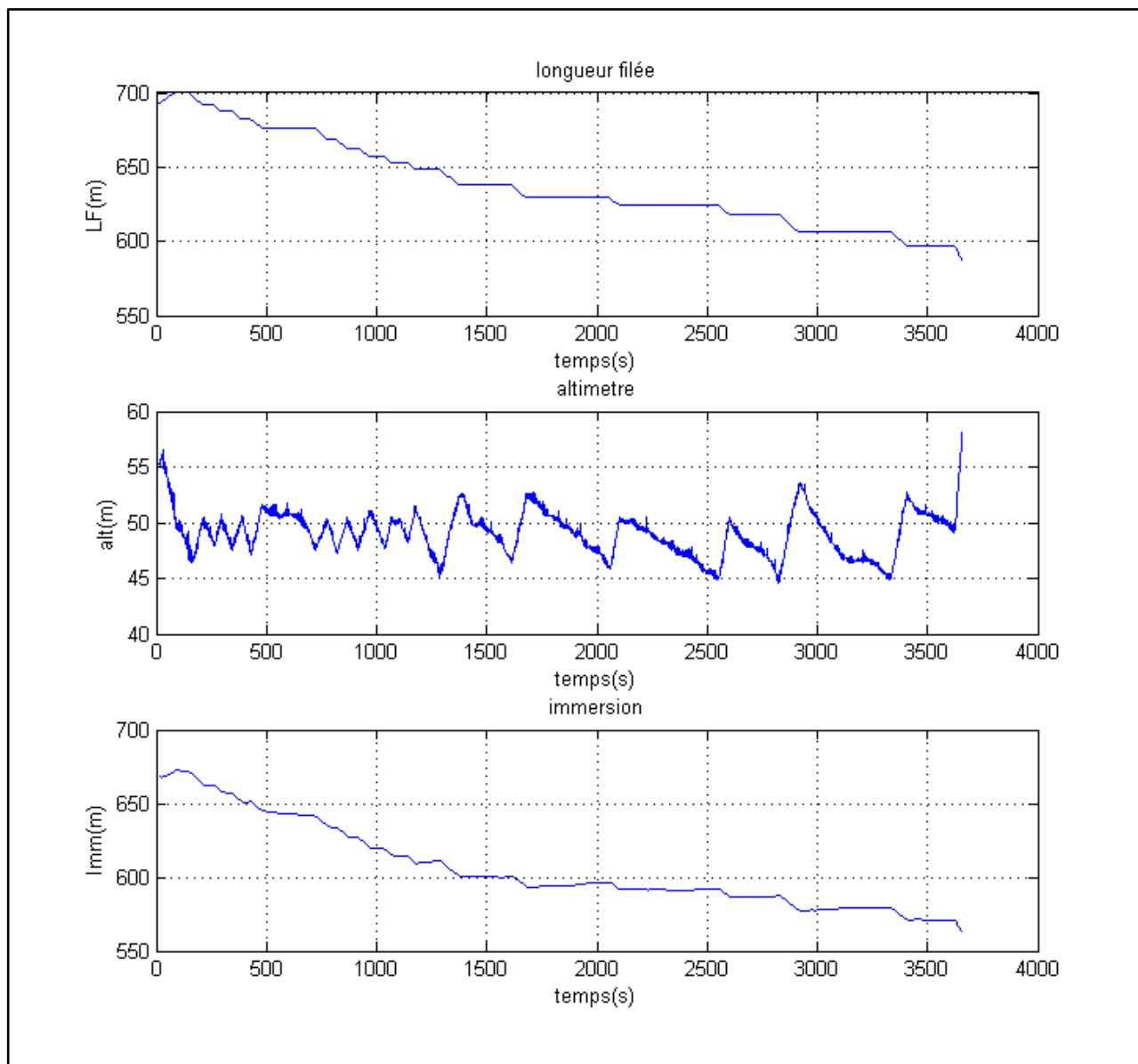


Figure 6

Le zoom (figure 7) peut laisser penser que la variation de longueur filée est imposée avec de nombreux à-coups susceptibles de perturber le comportement de la flûte.

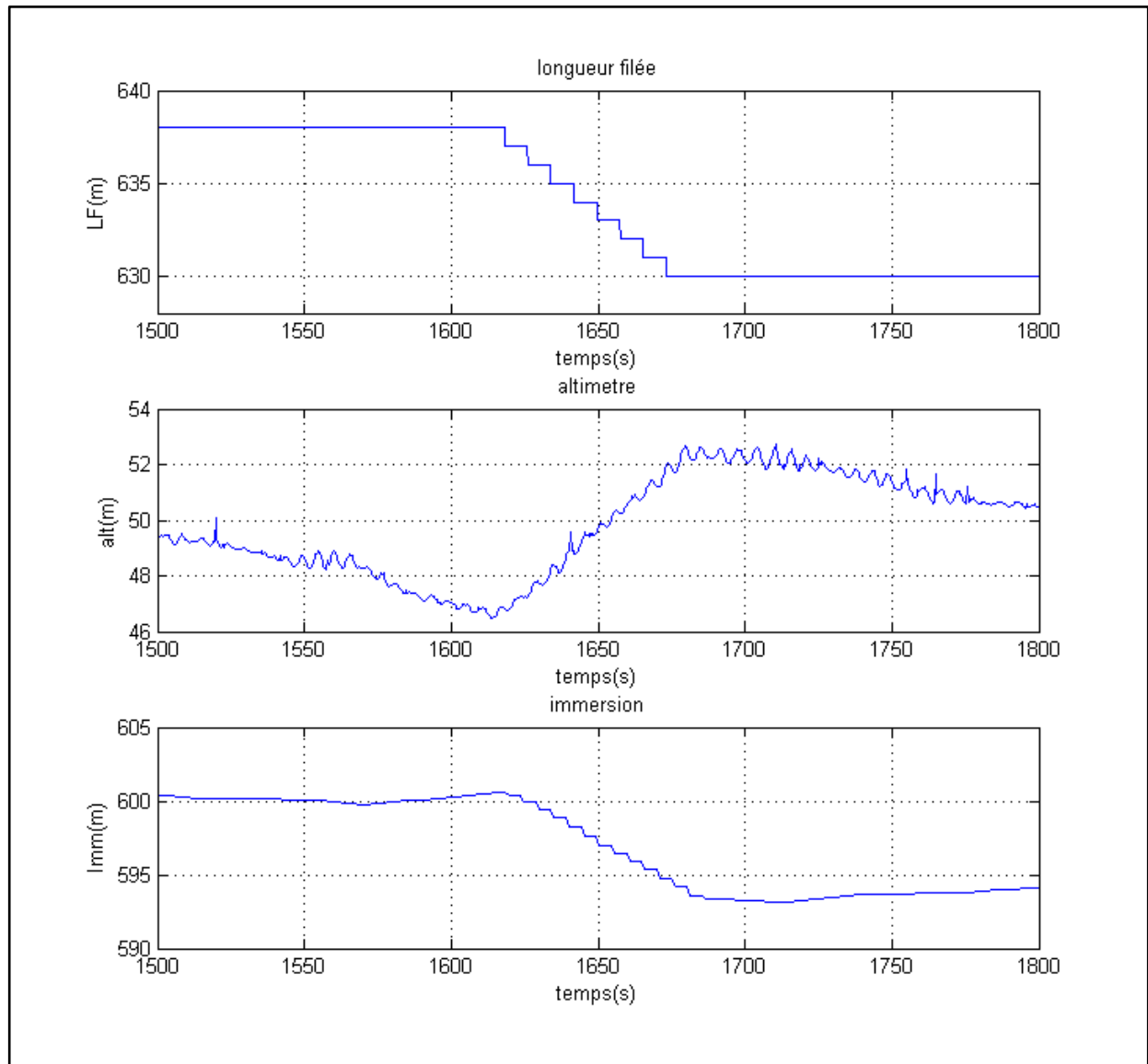


Figure 7

L'allure de ces courbes, en marches d'escalier, est en fait due à la quantification du signal ou au sous-échantillonnage.

## 3 Modélisation numérique

Les types de simulations effectuées sont les suivantes

- ajustement de la pesée
- réponse aux variations de longueur filée
- réponse aux mouvements du bateau+ variations de longueur filée
- simulation du système lest-flûte
- simulation complète du système navire-lest-flûte

Les simulations sont réalisées à l'aide du logiciel DeepLines ou de routines développées au laboratoire CSM.

### 3.1 Ajustement de la pesée

La masse linéique, dont on déduit le poids apparent (= dans l'eau), a été estimée (par Florent Colin) à partir des informations sur la constitution de la flûte fournies par Sercel.

Ce poids linéique a été introduit dans les modèles, pour un calcul en conditions stationnaires : dans le modèle CSM, j'ai pu modifier la formulation des efforts hydrodynamique sur la flûte.

La formulation classique (dite de Morison) pour la traînée normale à la flûte est

$$F_n = 1/2 \rho C_{dn} \text{dia} |V_n| V_n$$

J'ai testé la formulation modifiée :

$$F_n = 1/2 \rho C_{dn} \text{dia} |V| V_n$$

$F_n$  force de traînée normale par unité de longueur.

$C_{dn}$  coefficient de traînée (adimensionnel)

$\text{dia}$  diamètre de la flûte

$\rho$  masse volumique de l'eau de mer

$V$  vitesse relative de l'eau / flûte

$V_n$  composante normale de  $V$

La formulation classique des efforts hydrodynamiques est surtout validée pour des configurations où l'axe de la structure (câble, ombilical, ligne d'ancrage) présente un angle important par rapport à la vitesse relative. Pour une flûte au contraire, cet angle est faible (0 à 10°). Pour simplifier, dans la formulation classique la force de portance varie avec le carré du tangage. Dans la formulation modifiée, elle varie avec le tangage, comme une portance de fuselage.

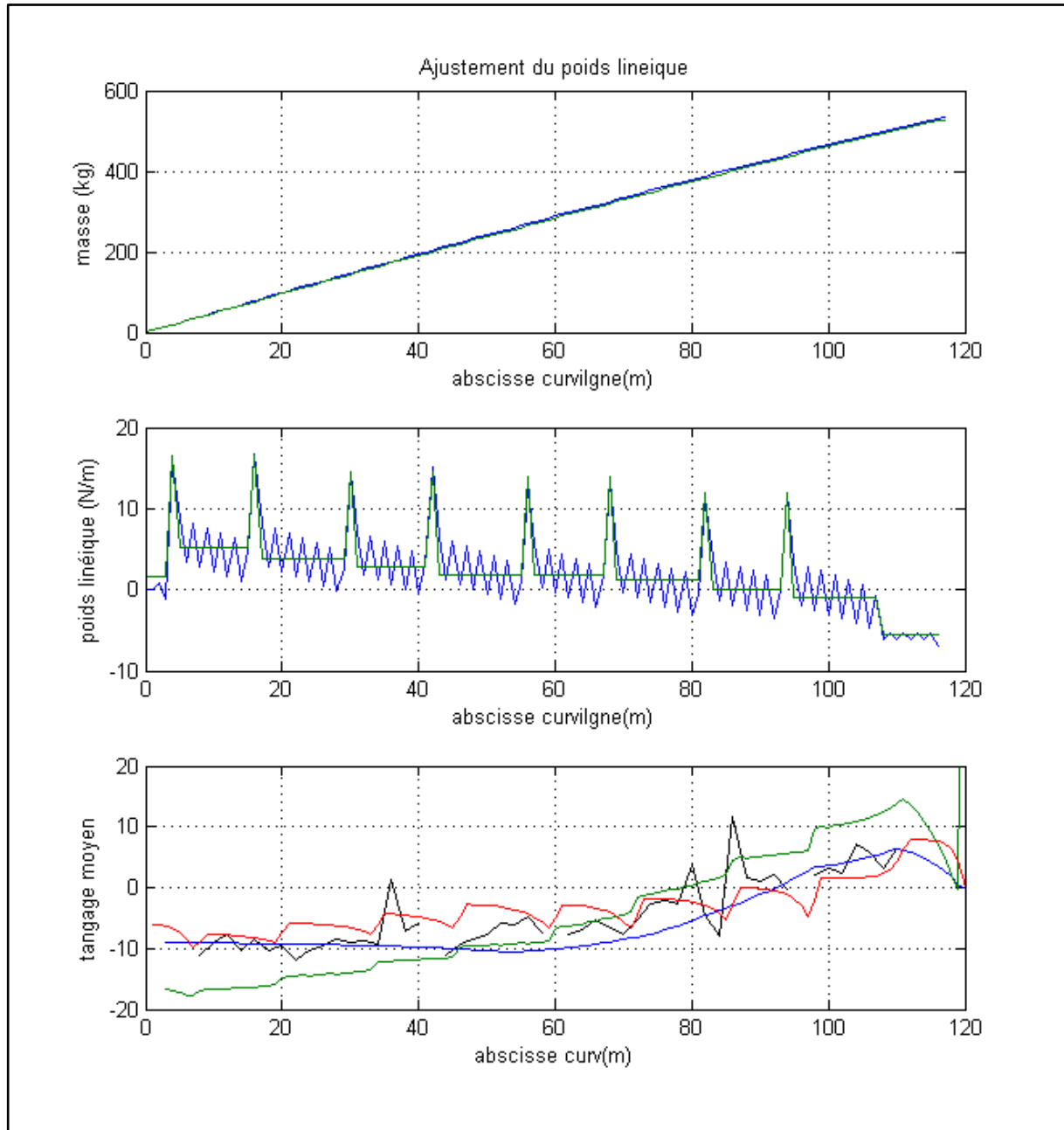


Figure 8 Ajustement du poids linéique

Courbes 2 : en bleu estimation du poids linéique d'après données Sercel; en vert poids linéique utilisé dans les modèles numériques

Courbes 3 :

en noir : tangage d'après données MEMS corrigées\*; en vert : tangage calculé selon formulation Morison classique/poids linéiques SERCEL, en rouge : tangage calculé selon formulation Morison modifiée/poids linéiques SERCEL, en bleu : tangage calculé selon formulation Morison classique/poids linéiques ajustés pour suivre les mesures MEMS.

\* une correction de +2.2°, apportée aux données de tangage MEMS pour les capteurs 15 à 34, améliore la reconstitution de l'image sismique

La définition de l'angle de tangage est explicité figure 9

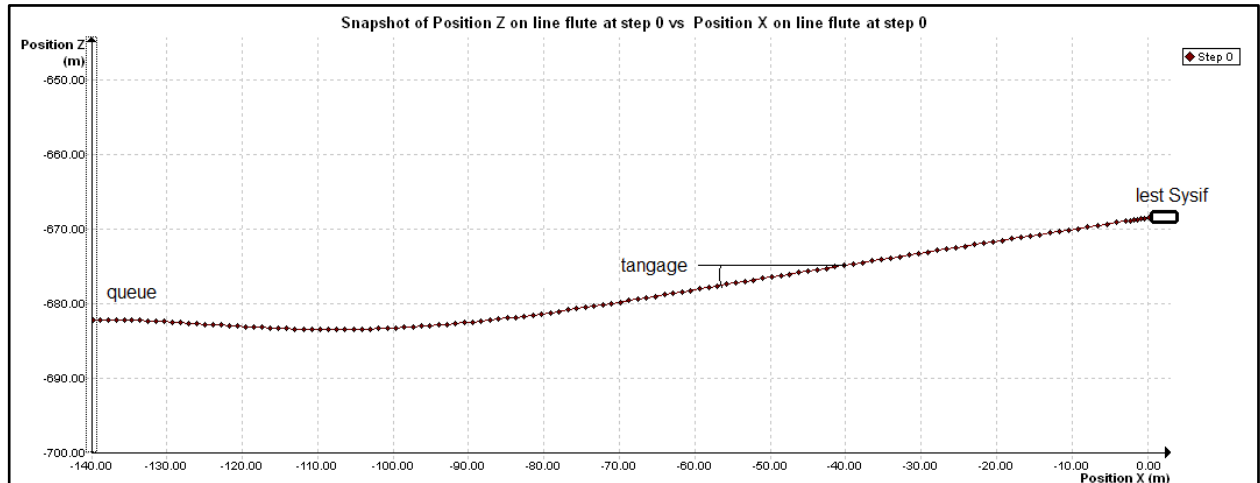


Figure 9 Tangage (négatif sur cet exemple)

### 3.2 Réponse aux variations de la longueur filée

Le premier point examiné concerne la réponse de la source Sysif aux variations de longueur filée. Ce point est analysé au moyen d'une simulation dans le domaine temporel à l'aide du logiciel DeepLines

Un premier modèle comporte

- le câble de remorquage : Câble VICTOR
  - Diamètre 20,50 mm,
  - masse linéique 1.451 kg/m
  - Poids dans l'eau 1.110 kg/m
- le lest Sysif
  - masse 2900 kg/m
  - Poids dans l'eau 18246N
  - Traînée horizontale  $F_h/V_h^2 = 770$

**Le navire est supposé se déplacer à vitesse constante** (= 1.03 m/s,  $\approx$  vitesse moyenne du profil sismique)

La simulation nécessite la lecture d'un fichier de vitesse treuil. Celle-ci est calculée à partir de la différence entre 2 valeurs successives de la longueur filée.

Ce calcul brut laisse apparaître des "paquets" d'impulsion de 0.2 s à des vitesses de 5 m/s, (figure 7.1 et zoom de figure 7.2) ce qui est évidemment irréaliste !.

On fait l'hypothèse que ces paquets sont en fait des épisodes de mouvements de treuils qui sont mis en évidence en effectuant un lissage. Un lissage par fenêtre de Hamming centrée de 81 échantillons fait apparaître la continuité de ces épisodes (figure 7.3). A l'examen, il apparaît qu'à chaque mouvement de treuil, la vitesse moyenne est d'environ 0.125 m/s; cette valeur a ensuite été ajustée à 0.13275 m/s pour obtenir la même variation totale de longueur filée sur l'ensemble du profil .

On redéfinit une vitesse constante par plages temporelles, nulle en dehors de ces plages, avec une rampe de raccordement sur 1 s (=5 pas de temps du fichier): voir figure 7.4 et figure 8. L'excitation due à cet historique de vitesse est modérée sauf peut-être pendant les phases de mise en vitesse ou d'arrêt du treuil.

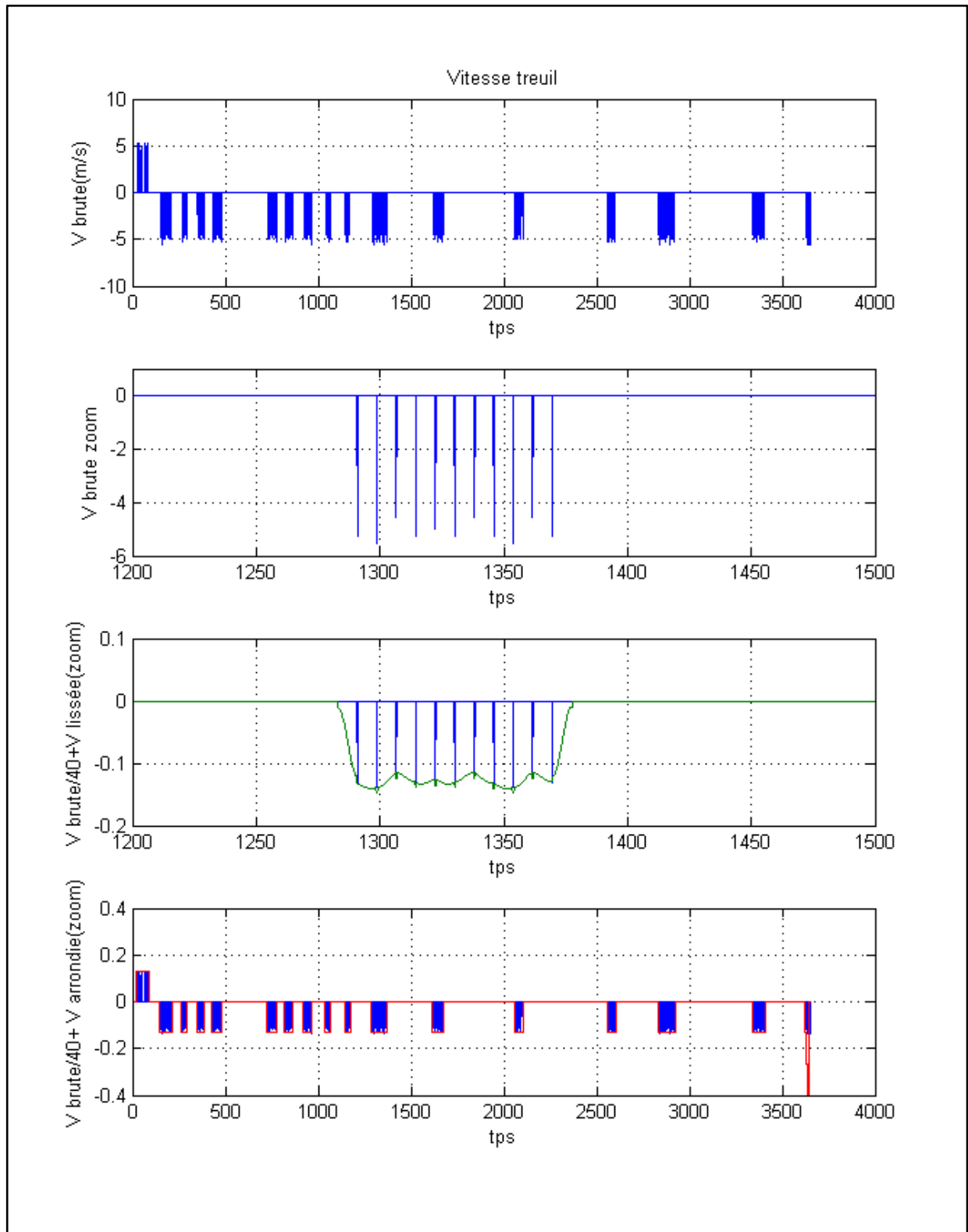


Figure 10

10.1 vitesse treuil brute, 10.2 vitesse treuil brute zoom, 10.3 vitesse treuil brute zoom/40 (en bleu) + vitesse lissée (en vert), 10.4 vitesse treuil brute /40 (en bleu) + vitesse arrondie (en rouge)

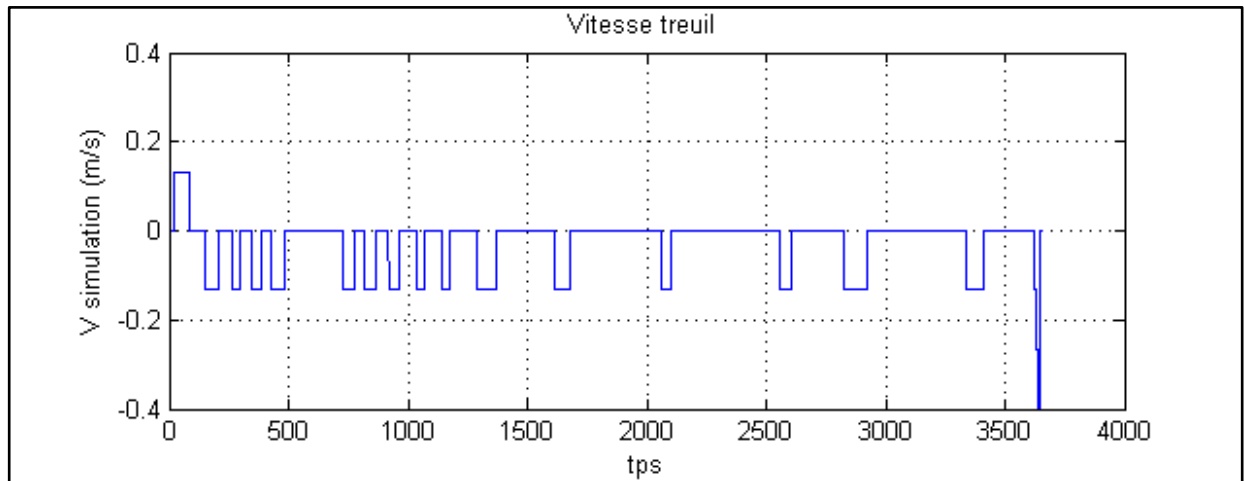


Figure 11

La réponse à cet historique de vitesse treuil, calculée à l'aide du logiciel DeepLines, est illustrée sur les 2 figures 12 et 13

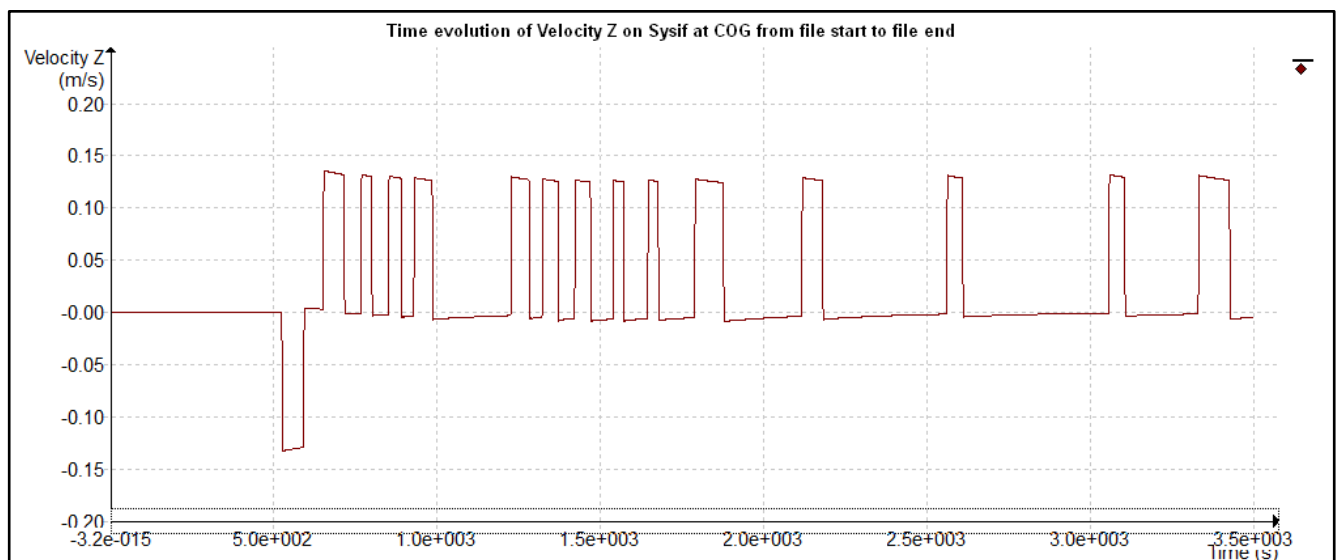


Figure 12 : vitesse verticale (simulée) du lest Sysif



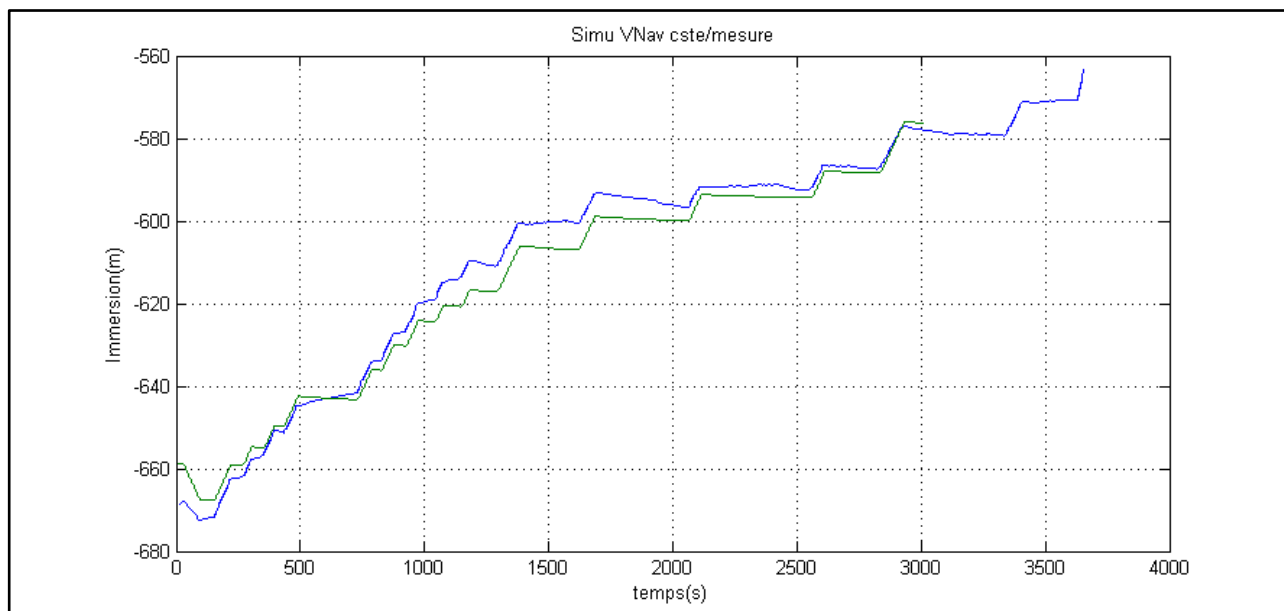


Figure 13 : position Z (simulée) du lest Sysif

en bleu immersion mesurée, en vert immersion simulée avec vitesse navire constante

**Ces simulations montrent que la mise en vitesse ou l'arrêt du treuil n'induisent pas une réponse oscillante de la ligne.**

### 3.3 Réponse aux variations de la longueur filée et de la vitesse du navire

La même simulation a été effectuée mais au lieu d'une vitesse constante, le point haut du modèle de câble suit le fichier de position navire. Les résultats en sont donnés sur les figures 14 et 15.

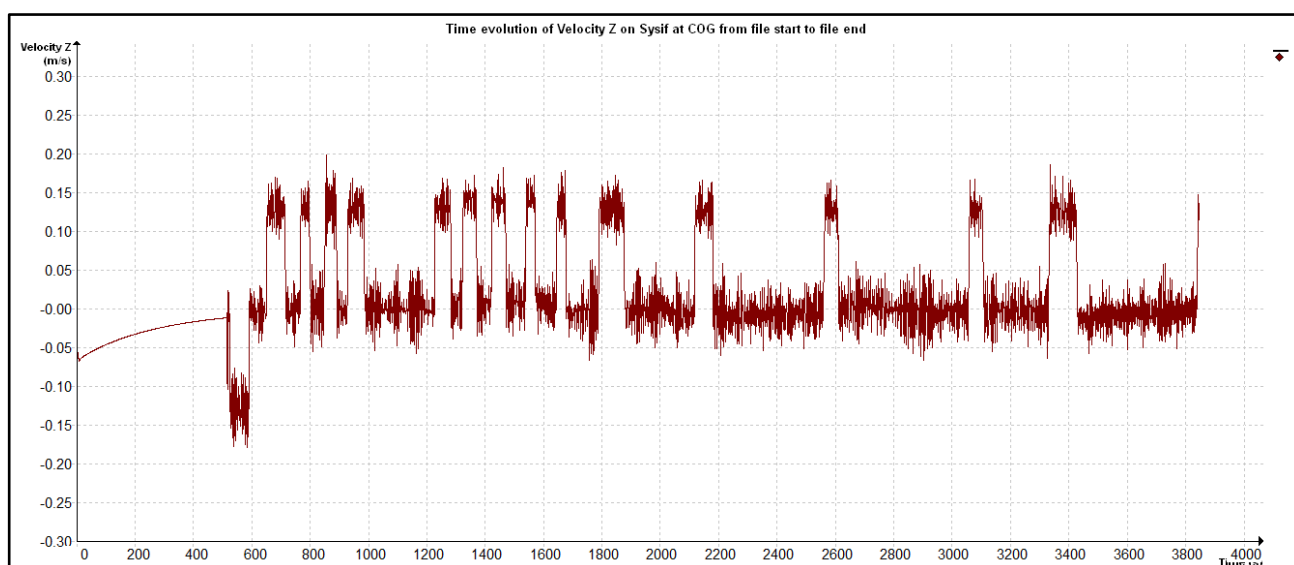


Figure 14 : vitesse verticale (simulée) du lest Sysif

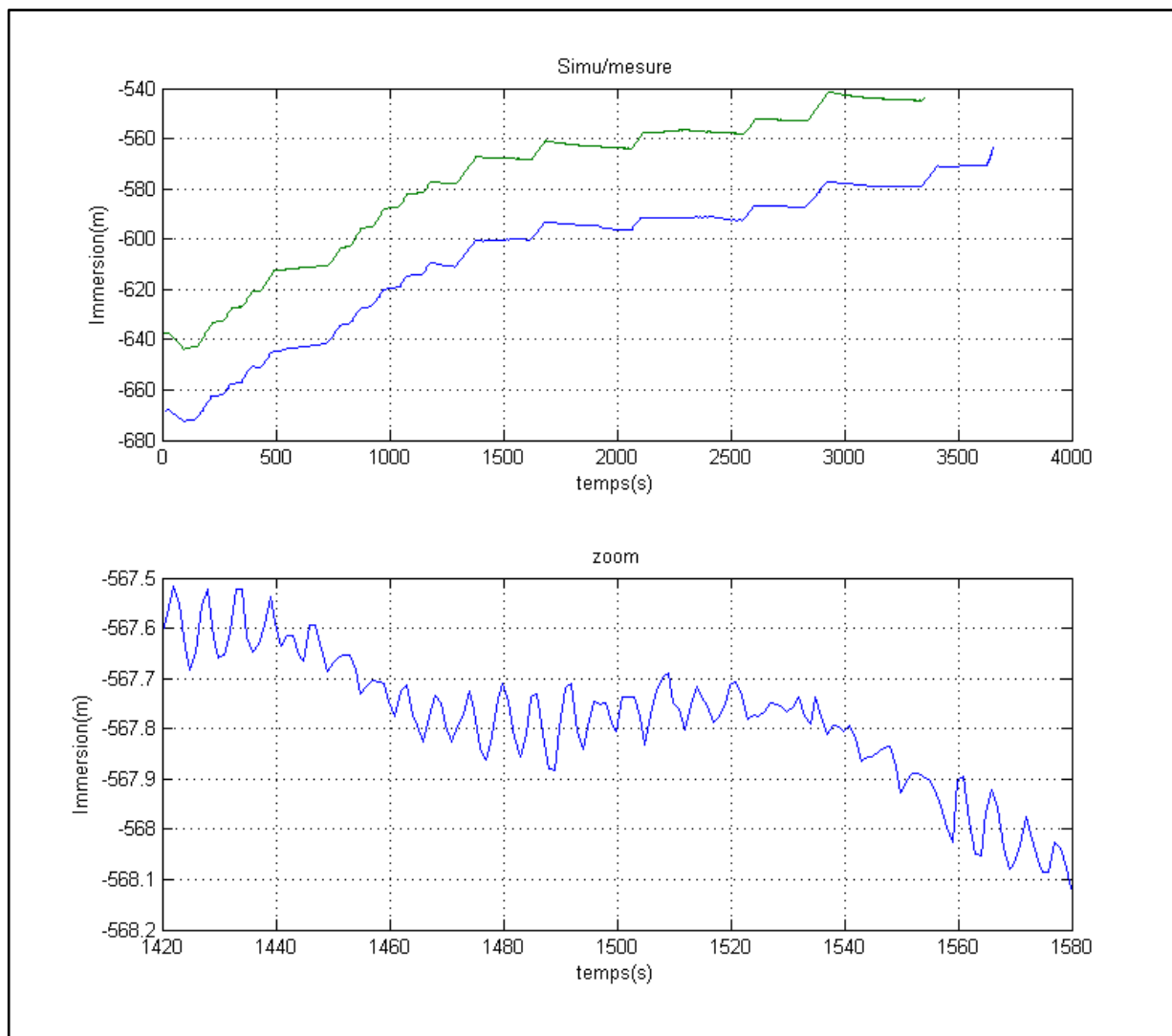


Figure15 : position Z (simulée) du lest Sysif

Figure 15 haut : en bleu immersion mesurée, en vert immersion simulée avec vitesse navire réelle ; l'écart entre les 2 courbes provient de la valeur des paramètres du modèle (coefficients de traînée du câble et du lest, poids dans l'eau du câble et de l'engin etc.) qui devraient être ajustés.

Figure 15bas la réponse montre de petites oscillations verticales (d'environ 5 cm d'amplitude) aux périodes de houle dues à la réponse au mouvement du navire en cavalement ; **cette réponse est évidemment sous-estimée puisque les mouvements verticaux du navire sont à zéro dans cette simulation.**

Le tracé de la trajectoire du bateau et de celle du lest Sysif montre que cette dernière est décalée vers l'Ouest au lieu de suivre celle du bateau. Ce décalage peut être dû au courant. D'après la carte (figure 1), le courant ne peut être qu'à peu près parallèle aux isobathes. Cette simulation a permis, par approximations "manuelles" d'estimer un courant moyen sur la zone pendant la plongée qui rend compte du décalage: vitesse : 0.3 m/s, direction 225.

La figure 16 compare la trajectoire Sysif mesurée (noire) et la trajectoire simulée (rouge). La trajectoire du bateau est en bleu.

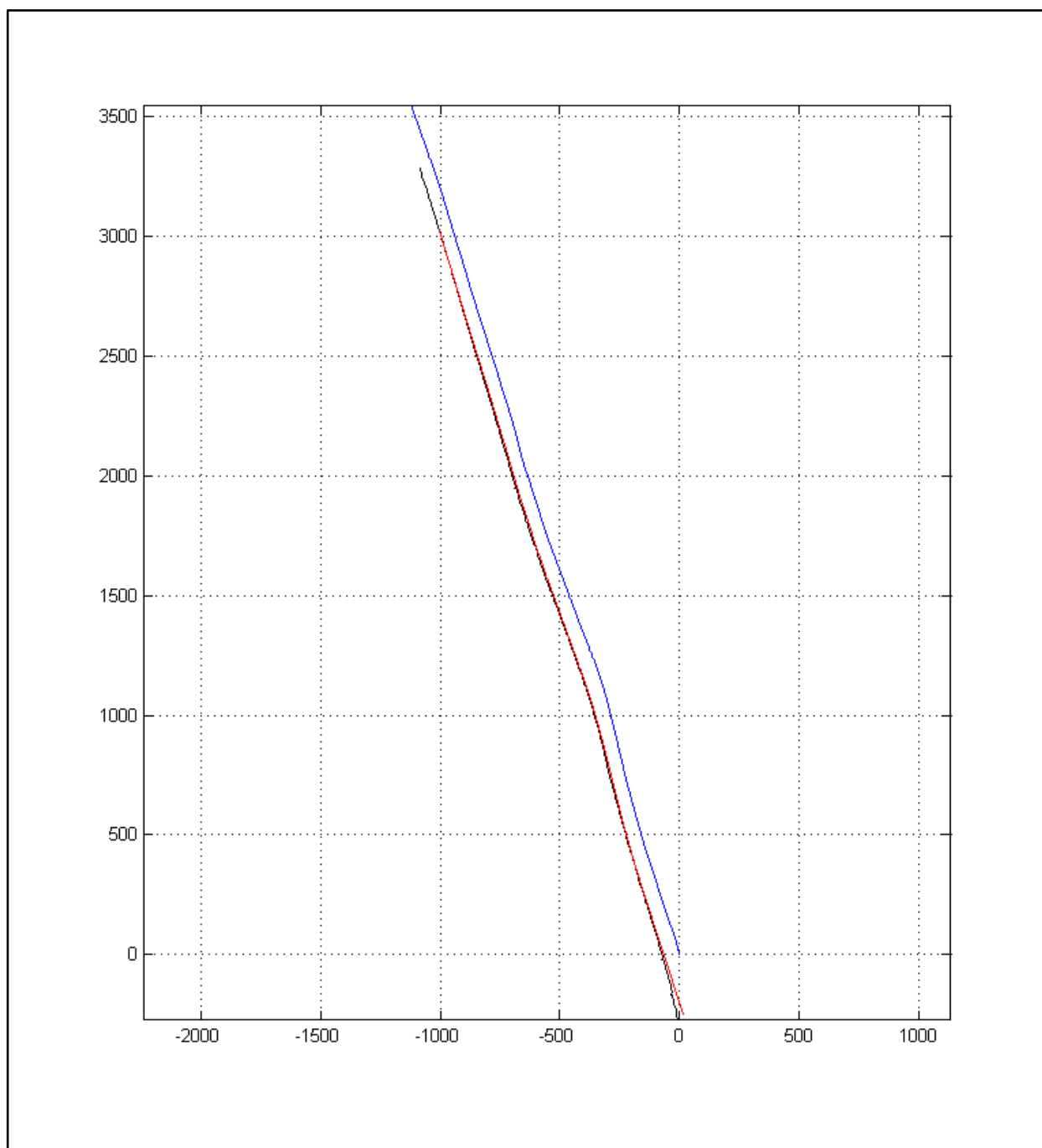


Figure 16

Cependant, il a été observé par l'équipe de REM/GM que le lest Sysif semble être positionné systématiquement décalé par rapport à la route du navire : ceci pourrait résulter, non de l'effet du courant mais d'un défaut de calibration de la base Posidonia ; il faudrait analyser l'ensemble des profils pour lever cette ambiguïté. L'introduction artificielle d'un courant pour rendre compte du décalage de la trajectoire pourrait expliquer l'écart important entre l'immersion calculée et l'immersion mesurée

### 3.4 Simulation du système lest-flûte

Cette simulation vise à calculer la déformation de la flûte induite par le mouvement de la source Sysif qui la remorque.

Pour réaliser cette simulation à l'aide du logiciel DeepLines, il faut reconstituer un fichier de mouvement du lest.

#### 3.4.1 Reconstitution du mouvement du lest

Les composantes horizontales de son mouvement sont fournies par les données de position Sysif.

Le mouvement vertical du lest Sysif pourrait être mesuré par le seul capteur de pression. Mais, comme indiqué plus haut, l'enregistrement de pression (convertie en m de profondeur) est ici réalisé avec un pas d'échantillonnage assez important (1.7 s).

La donnée d'immersion peut cependant être utilisée combinée avec les mesures d'accélération verticale donnée par la centrale d'attitude. Notons que cette dernière est échantillonnée à une période, elle aussi un peu trop longue, de 0.3 s.

Pour un engin naviguant à immersion moyenne constante, les déplacements verticaux peuvent être calculés par double intégration de l'accélération verticale par fft avec élimination des basses fréquences. D'après l'expérience acquise sur des données de ce type, on peut éliminer les fréquences inférieures à 0.04 Hz. Ceci revient à considérer que les mouvements induits par la réponse sur navire sur houle : si l'on néglige les aspects non-linéaires de la réponse, ne peuvent pas comporter d'énergie en dehors de la bande de fréquence des phénomènes de houle [0.04 Hz -0.5 Hz]

Mais, pour un engin devant naviguer à altitude à peu près constante au dessus du fond, donc à immersion variable, cette méthode ne peut pas être appliquée.

Deux méthodes alternatives permettant de combiner les données d'immersion et accélérométriques peuvent être envisagées.

- **méthode 1:** la composante Haute Fréquence du mouvement vertical est calculée par double intégration des données accélérométriques, la composante Basse Fréquence est donnée par le capteur d'immersion, la position verticale instantanée est la **somme de ces 2 composantes**. La composantes HF de l'accélération est filtrée par un filtrage fréquentiel éliminant le contenu aux fréquences inférieures à une fréquence de coupure **fc**.
- **méthode 2:** les 2 séries de données (immersion et accélération) sont combinées selon le formalisme d'un filtre de Kalman. L'algorithme est paramétré par la variance de l'erreur estimée pour chacune des mesures (accélérométriques et d'immersion).

Pour chacune des 2 méthodes, la donnée d'immersion est d'abord lissée (pour éliminer l'aspect "marches d'escalier" (un lissage par fenêtre rectangulaire sur 3 points suffit) et rééchantillonnée à la même cadence que la mesure d'accélération. Elle sera notée  $Z_p$  (immersion fournie par le capteur de pression)

Les données d'entrée de ces 2 méthodes sont illustrées figure 17

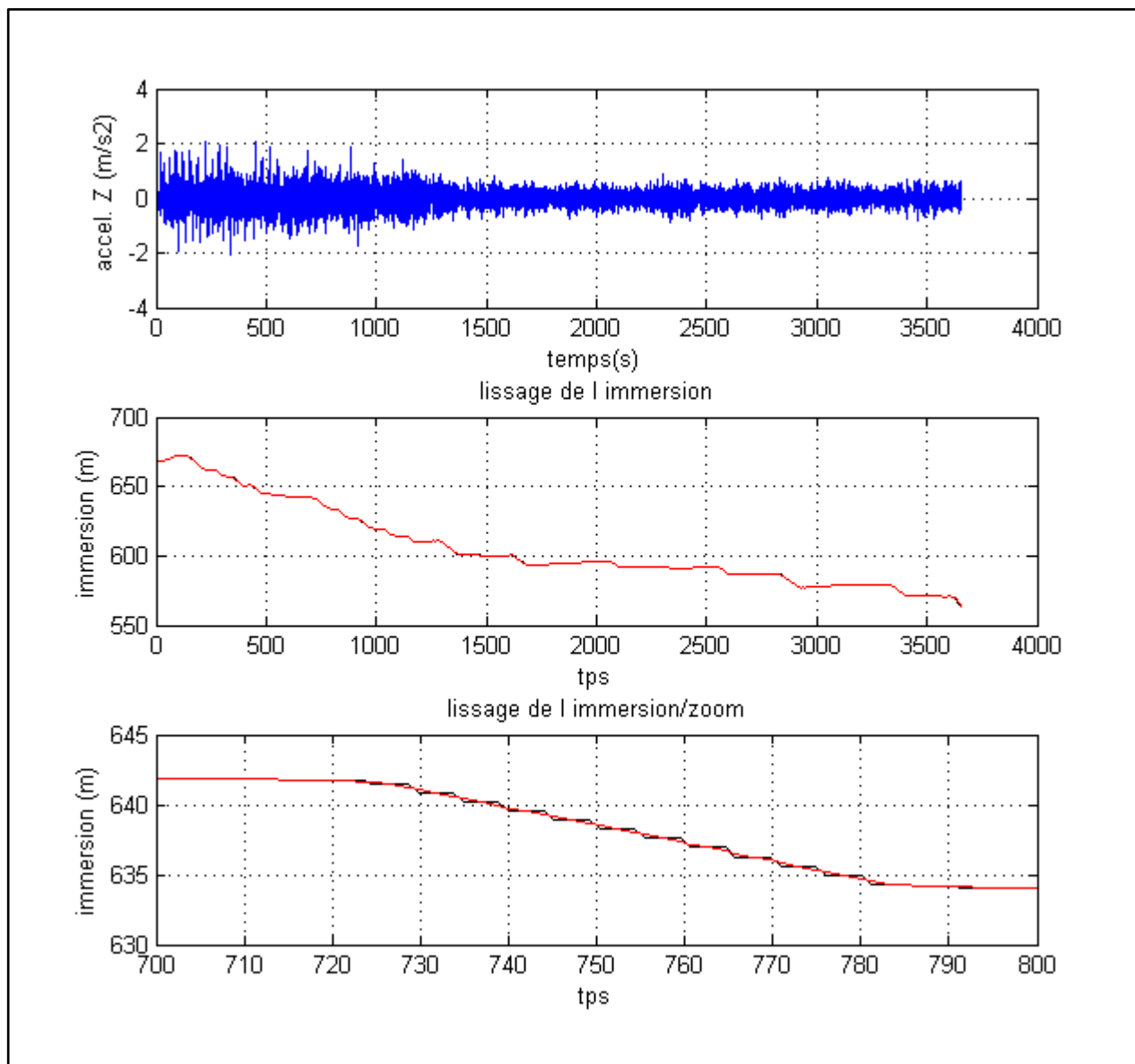


Figure 17 Accélération verticale et Lissage de l'immersion

La figure 17 présente l'accélération verticale (en haut), la superposition de l'immersion brute (en noir) et de l'immersion lissée en rouge ; au milieu, les 2 courbes paraissent quasiment confondues) ; en bas un zoom horizontal permet de distinguer ces mêmes courbes.

On remarque que le signal de l'accélération présente une amplitude de variation plus forte de  $t = 0$  à environ  $t = 1200$  s que sur la suite de l'enregistrement, et que, sur la même période, la variation de longueur filée est également plus importante.

La figure 18 complète la figure 17 : l'analyse spectrale de la vitesse Navire a été effectuée sur  $T = 0$  à  $1200$  s (courbe bleue) puis sur  $T = 1200$  s à la fin de l'enregistrement (courbe rouge).

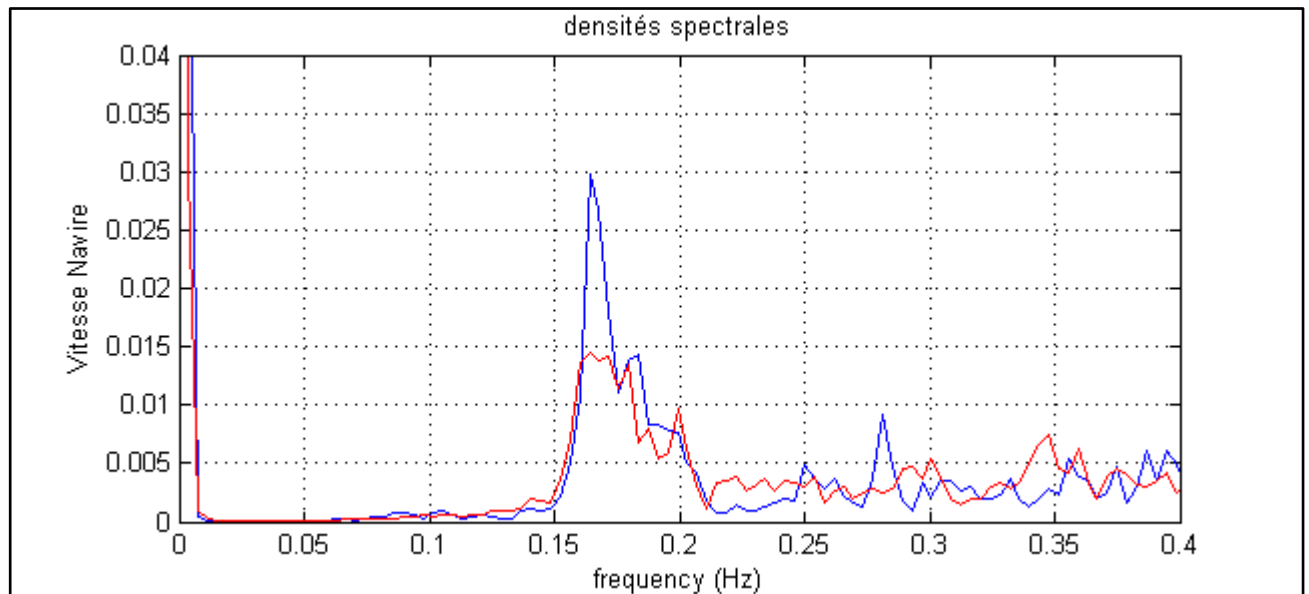


Figure 18

Il semble que le navire ait rencontré un état de mer plus calme dans la seconde partie de l'enregistrement.

Cette figure semble confirmer que la fréquence de coupure basse pour l'intégration de l'accélération dans la méthode 1 peut-être fixée à 0.04 Hz. **Les résultats obtenus se révèlent cependant très sensibles à cette valeur.** Si on adopte effectivement cette valeur, le spectre de mouvement du lest présente de l'énergie autour de 0.05 Hz. Le contenu dans cette bande de fréquence se retrouve logiquement dans les spectres du **tangage simulé** le long de la flûte mais **pas dans les enregistrements des capteurs MEMS.**

**Un meilleur accord entre simulations et mesures a été obtenu avec la seconde méthode.** Elle consiste à prédire la position verticale par double intégration, dans le domaine temporel, des mesures accélérométriques et à corriger cette estimation par les observations de cette position par le capteur de pression. Il a toutefois paru plus intéressant de considérer que la mesure de pression constitue une observation de la composante basse fréquence de l'immersion : la pression est comparée à l'immersion filtrée par une fenêtre glissante : en plus du rapport entre les variances des bruits de mesure de pression et d'accélération, un second paramètre est la longueur de la fenêtre de Hamming utilisée pour le lissage.

**Ces 2 paramètres ont été ajustés de manière à obtenir le meilleur accord possible entre le tangage simulé et celui mesuré par les capteurs MEMS.**

La figure 19 compare les spectres obtenus : en bleu, intégration par fft avec la fréquence de coupure basse 0.04 Hz, en rouge, intégration selon filtrage de Kalman.

Le spectre obtenu par la première méthode comporte un niveau d'énergie important autour de 0.05Hz. En fait, le bruit du capteur, après la double intégration, présente une

énergie importante à basse fréquence dont la partie aux fréquences  $< 0.04$  Hz a été éliminée.

Le calcul des modes propres par le logiciel DeepLines indique la présence d'un mode d'oscillation pendulaire de fréquence 0.041 Hz (soit période = 24 s) avec la longueur filée au début de l'enregistrement = 693 m).

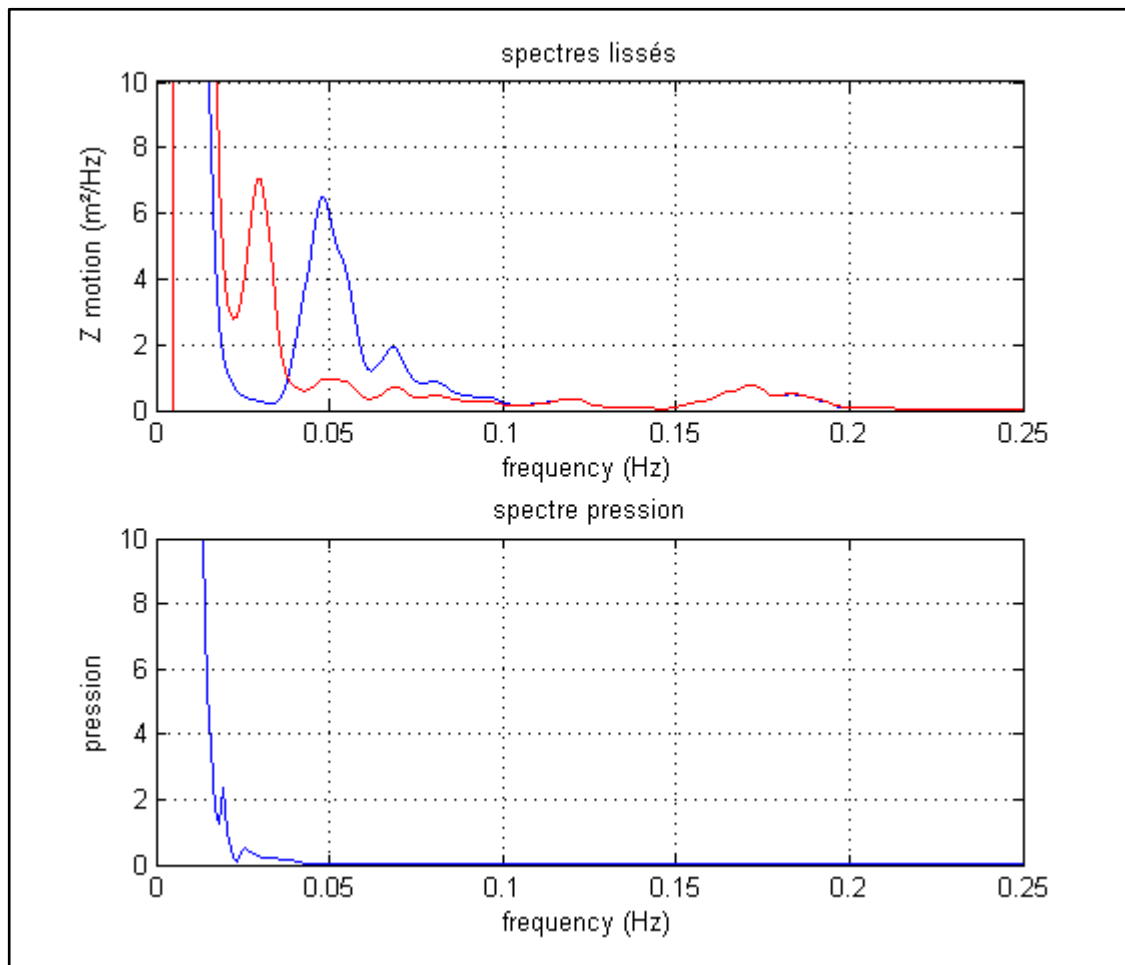


Figure 19

Les deux méthodes fournissent des séries temporelles sensiblement différentes pour les mouvements du lest. La figure 20 puis les zooms figures 21 à 23 (en bleu, méthode par intégration fft, en vert méthode par filtrage de Kalman) permettent de les comparer.

On a noté

- $Z_p$  l'immersion (lissée et ré-échantillonnée) déduite du capteur de pression)
- $Z_a$  le résultat de la double intégration de l'accélération verticale
- $Z_i$  la position verticale du lest Sysif obtenue par la première méthode  $Z_i = Z_a + Z_p$
- $Z_k$  la position verticale du lest Sysif obtenue par la seconde méthode (filtre de Kalman)

Il faut comparer  $Z_k$  et  $Z_a + p$ , ou  $Z_k - p$  et  $Z_a$

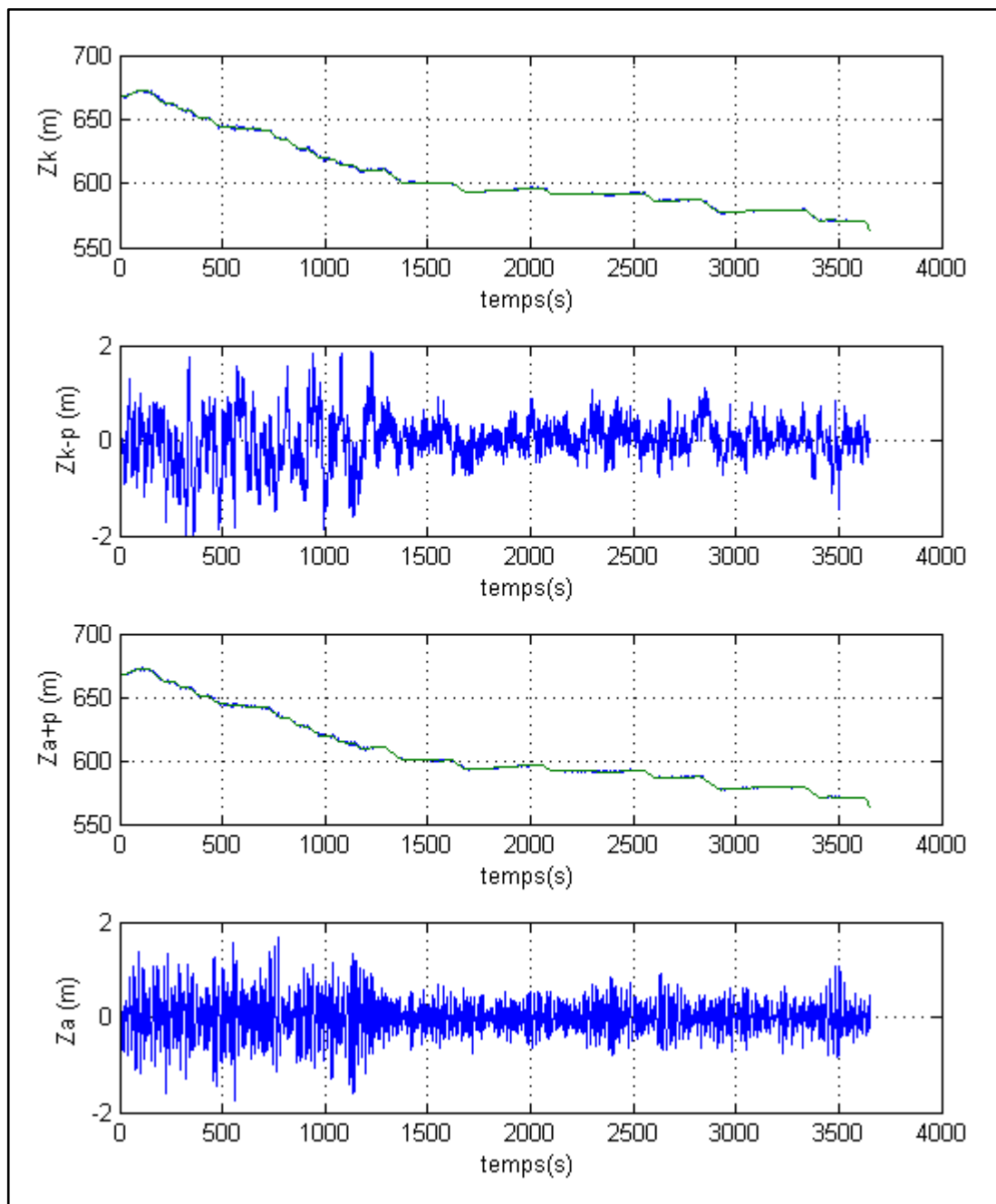


Figure 20



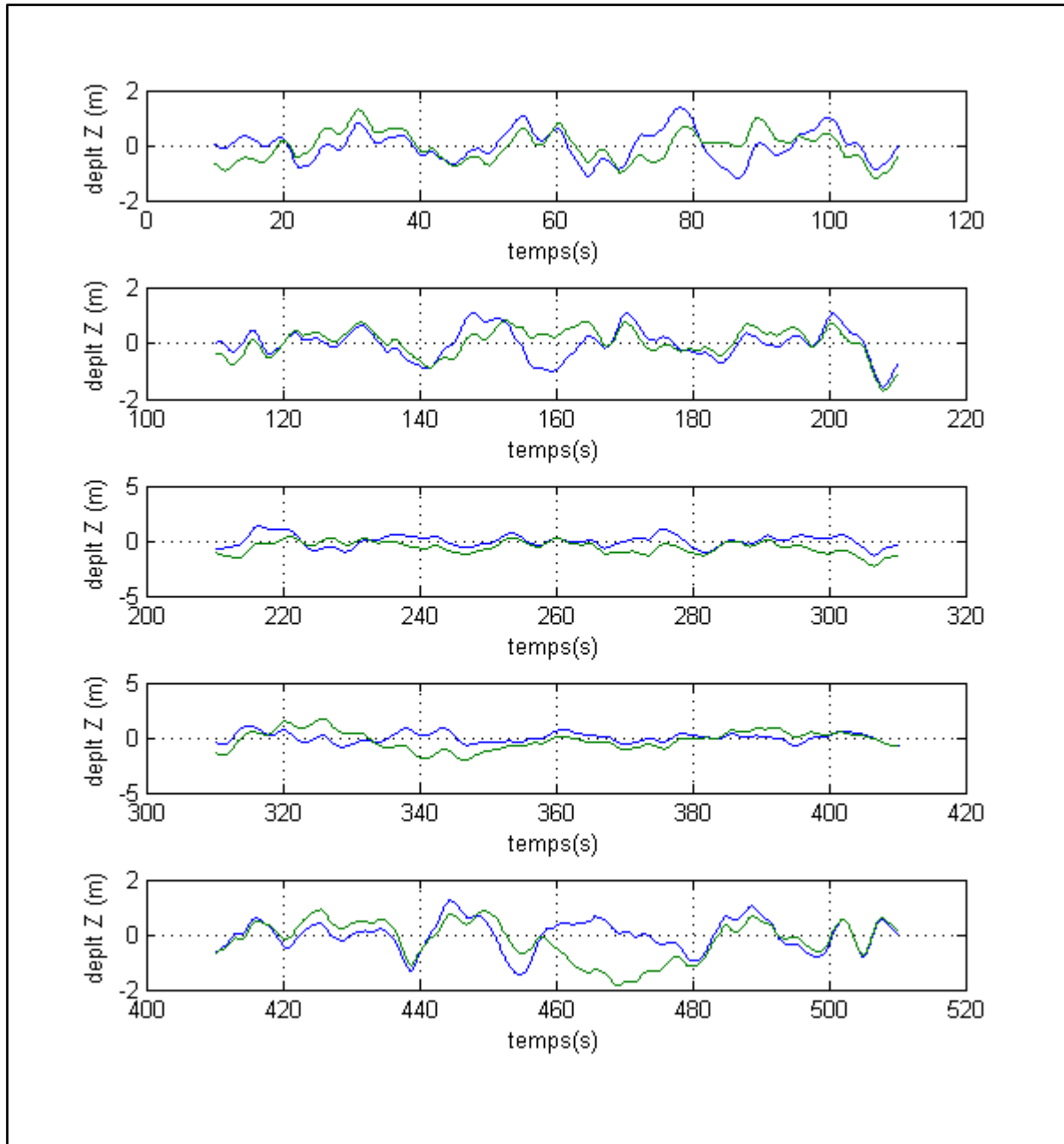


Figure 21

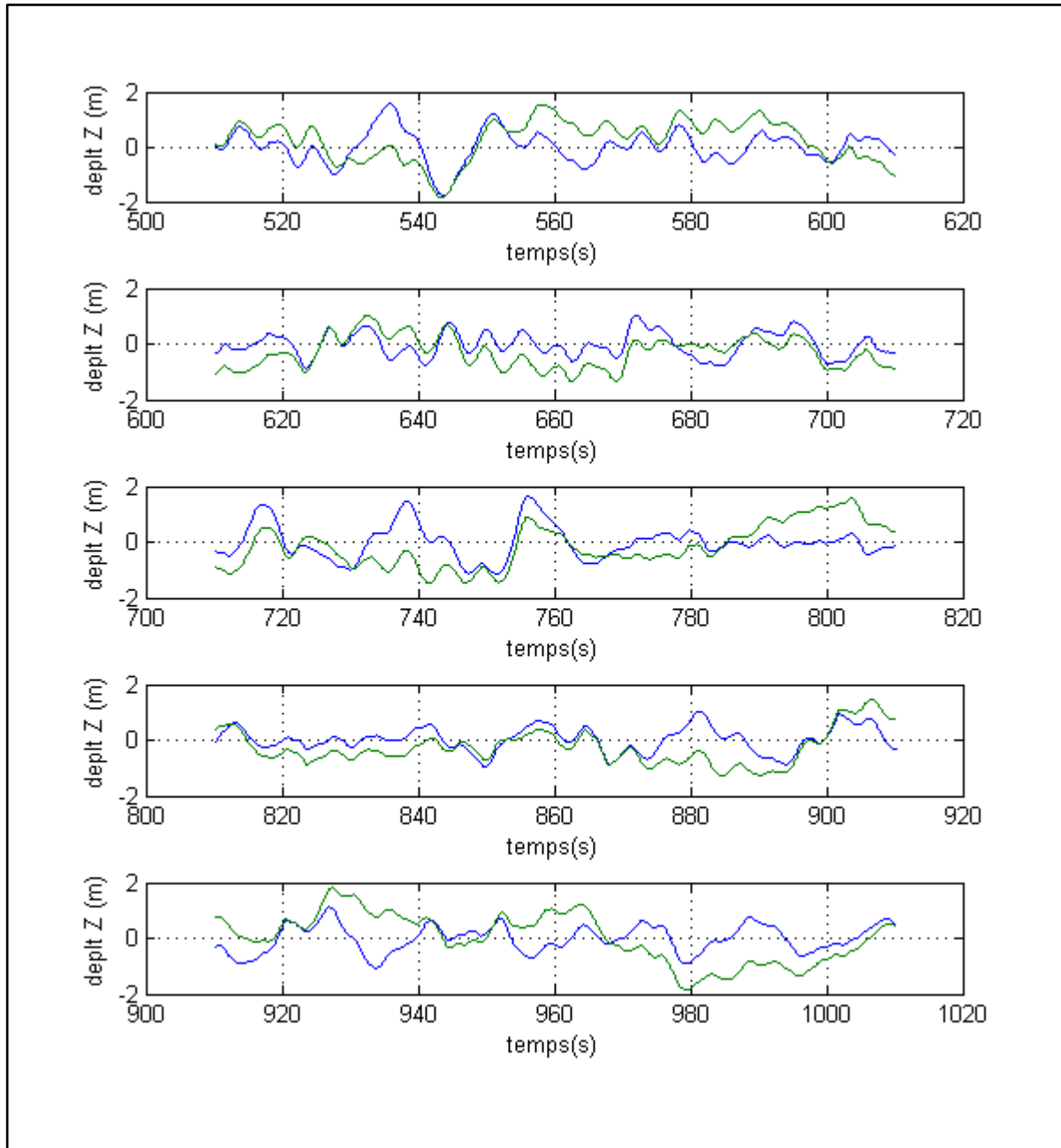


Figure 22

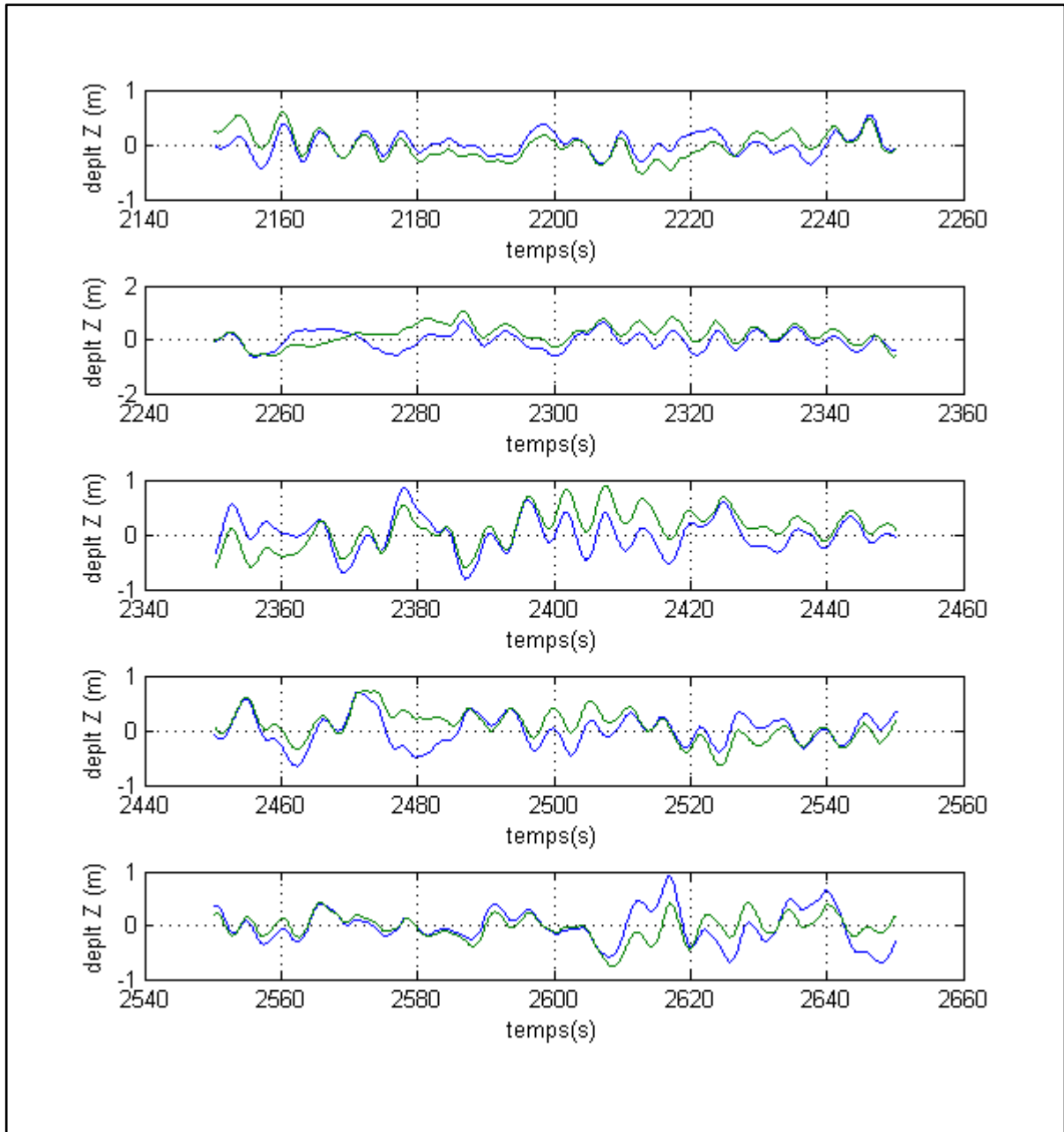


Figure 23

### 3.4.2 Simulation DeepLines

Le modèle DeepLines utilisé comporte le lest Sysif et la flûte. Un fichier de déplacement du lest est constitué : XS et YS sont les mesures issues de Posidonia mais lissées (voir § 2.2.2 fig. 4), ZS est le déplacement vertical  $Z_k$  calculé défini ci-dessus. Ce fichier est complété en début, par une séquence à vitesse et altitude constante de 500 s permettant démarrer la simulation dans une configuration stabilisée. L'ensemble est défini avec un pas de temps de 0.1 s.

Deux simulations ont été effectuées : pour la **première, les poids linéiques** des éléments ont été **ajustés** de manière à obtenir une courbe de tangage en fonctions de l'abscisse curviligne voisine de celle obtenue avec les capteurs MEMS, la **seconde** en

utilisant des données de poids linéique conforme ( mais moyenné sur des longueurs de tronçons) aux **poids linéiques réels** ( du moins à la meilleure estimation que l'on peut reconstituer) : le tangage "statique" (=moyenné sur une fenêtre temporelle de s correspondant à cette seconde simulation a été indiqué, figure 8/courbe 3/vert)

La figure 24 montre le tangage obtenu par les 2 types de simulations. Les courbes sont tracées aux points correspondants aux capteurs 1 12 22 32 42 52.

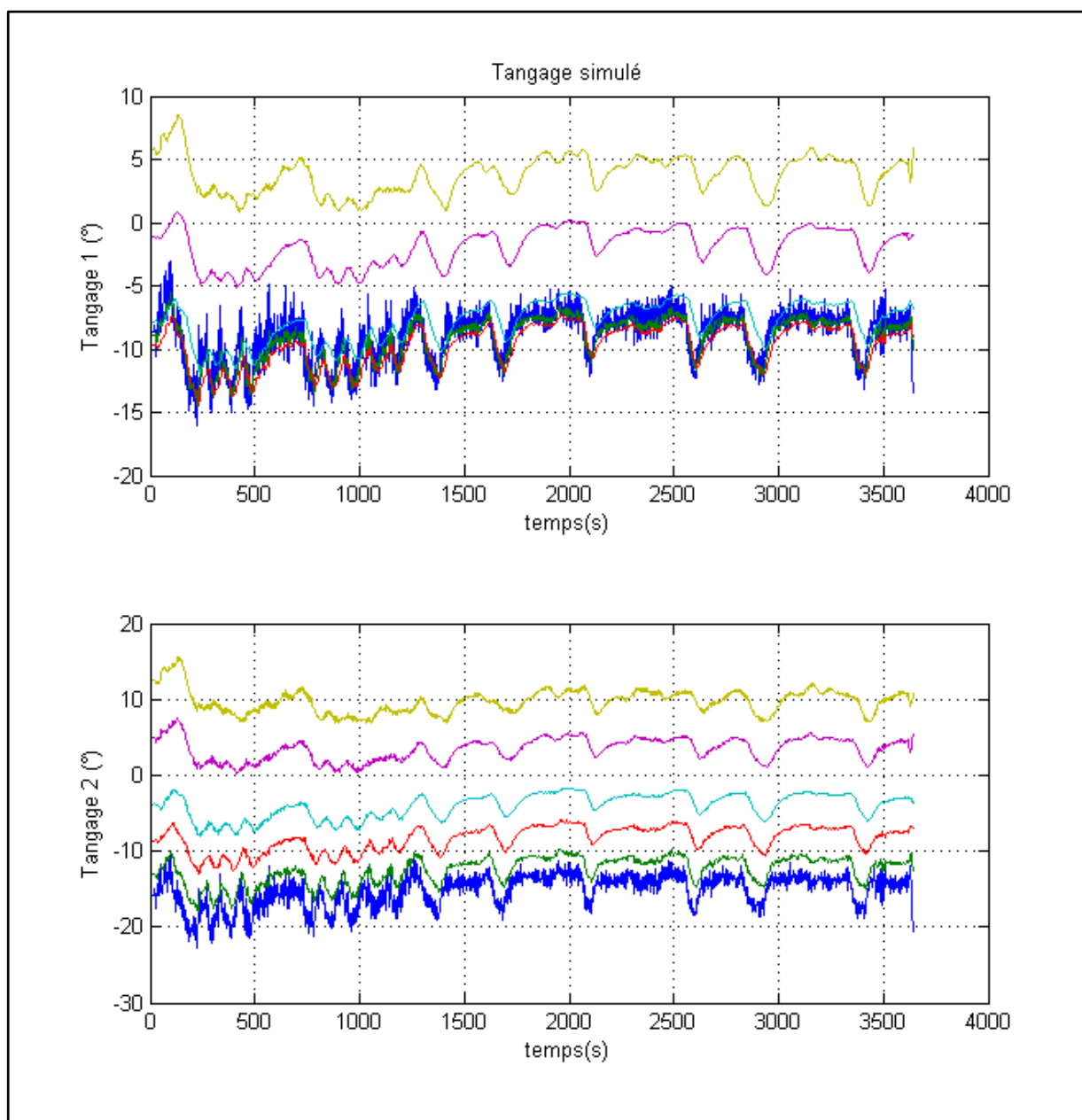


Figure 24

bleu	capteurs 1	vert	capteurs 12
rouge	capteurs 22	turquoise	capteurs 32
violet	capteurs 42	ocre	capteurs 52

La figure 25 compare le tangage mesuré par les capteurs MEMS n° 1 12 22 32 42 52 (bleu) avec les résultats de la **simulation 1** aux mêmes points (rouge). Le tangage simulé a été corrigé de l'écart moyen avec le tangage mesuré.

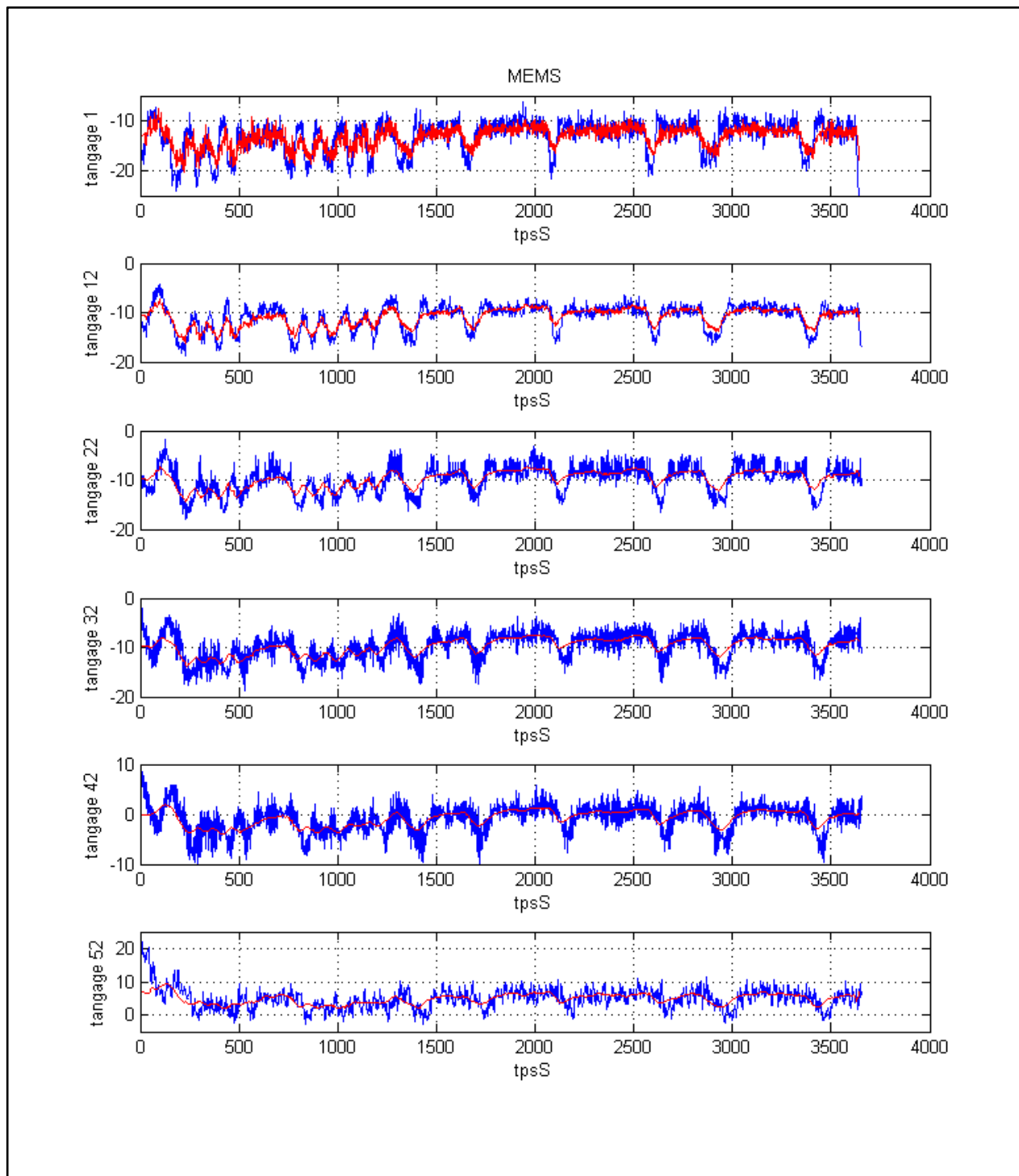


Figure 25

La figure 26 compare le tangage mesuré par les capteurs MEMS n° 1 12 22 32 42 52 (bleu) avec les résultats de la **simulation 2** aux mêmes points (rouge) Le tangage simulé a été également corrigé de l'écart moyen avec le tangage mesuré.

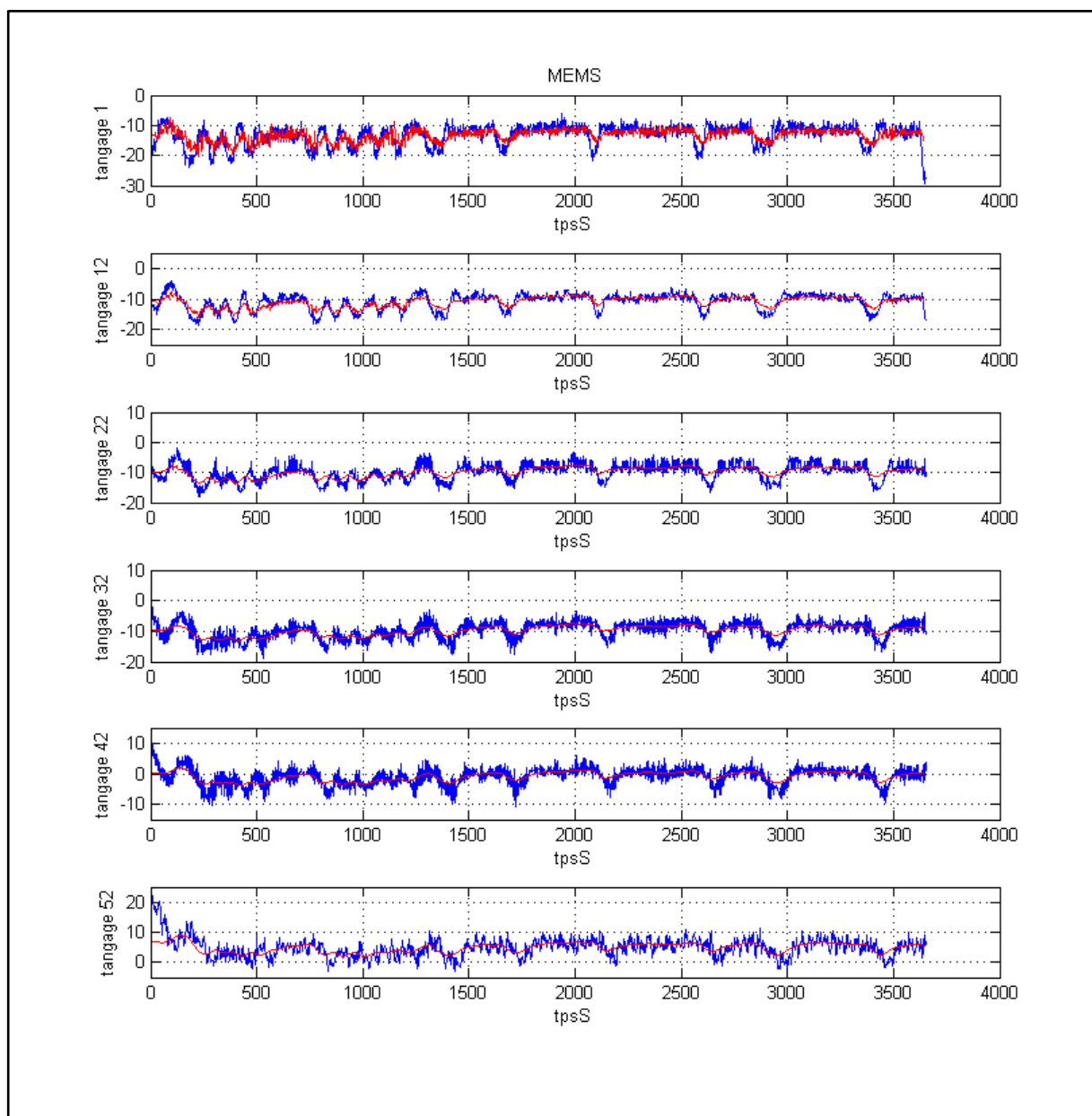


Figure 26

Ces courbes montrent que la simulation prévoit un amortissement des mouvements de tangage le long de la flûte beaucoup plus important que les mesures.

L'accord semble globalement satisfaisant en tête de flûte pour le capteur n° 1 mais le zoom (figure 27) sur la 1ère courbe de la figure 26 tempère cette impression !

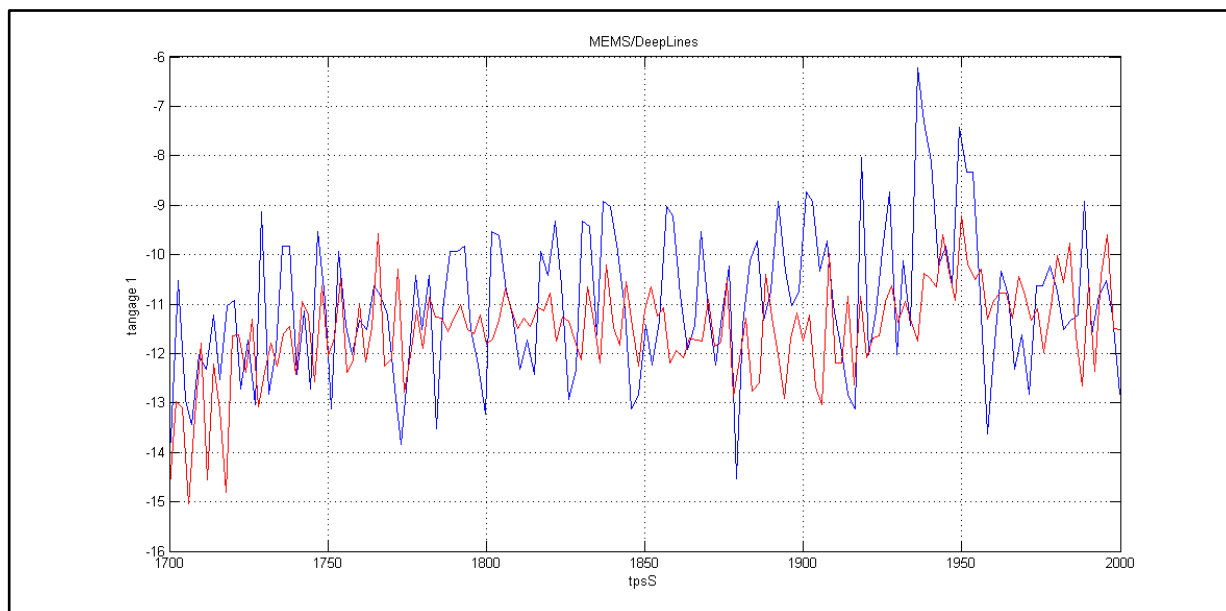


Figure 27

La figure 28 compare le spectre du tangage mesuré par les capteurs MEMS n°1 et 12 (courbes bleues) avec le tangage obtenu avec la simulation 1 (courbe verte) et celui obtenu avec la simulation 2 (courbe rouge)

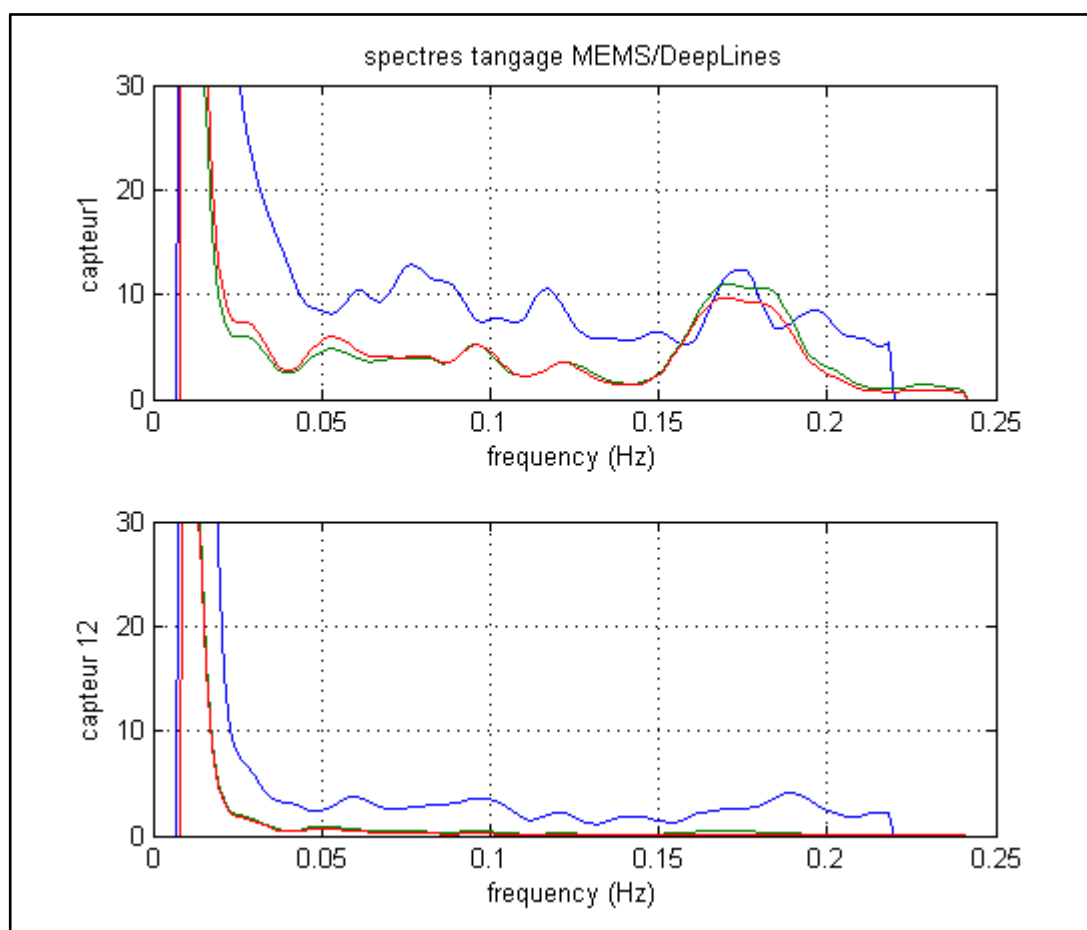


Figure 28

Sur toutes les figures de comparaison entre tangage simulé et mesuré, on peut faire les remarques suivantes.

Les variations de tangage induites par les variations de longueurs filées sont plus marquées sur les mesures que sur les résultats de simulation.

Aux fréquences de houle, sur les résultats de simulation, les variations de tangage induites par le pilonnement du lest Sysif sont

- fortement apparentes au niveau du capteur 1,
- encore nettement apparentes au niveau du capteur 12,
- puis considérablement amorties au niveau des capteurs suivants.

Cette évolution ne se retrouve pas sur le tangage mesuré : le tangage paraît même plus important en queue de flûte.

## 4 Conclusions

Le travail présenté dans ce rapport a permis d'analyser le comportement de la flûte SYSIF et les performances de son instrumentation.

L'établissement de données aussi précises que possible du poids linéique le long de la flûte a mis en évidence le "festonnement" : les charges ponctuelles liées à la présence des capteurs induisent des variations locales de l'angle de tangage, justement là où il est mesuré. La reconstitution de la géométrie de la flûte à partir de ces mesures peut donc être entachée d'erreur.

Des simulations dynamiques du comportement de la flûte ont été réalisées à l'aide du logiciel DeepLines. Les résultats de ces simulations, combinées aux mesures de tangage, pourraient permettre d'améliorer la reconstitution de la géométrie de la flûte. L'accord entre les résultats de simulation et les mesures n'est actuellement pas satisfaisant. Les raisons possibles en sont :

- la formulation des efforts hydrodynamiques dans DeepLines n'est actuellement pas adaptée à une flûte (écoulement à faible incidence). Une modification sera apportée à la prochaine mise à jour du logiciel.
- la définition du gréement de la flûte (câbles en tête, bout' en queue), n'est pas précise.
- la simulation du système complet Navire-Sysif ne prend en entrée que la position du navire et les variations de longueur filée. Les mouvements du navire sur houle n'étaient pas pris en compte, faute de disposer des enregistrements de la centrale d'attitude.
- la simulation du système Lest Sysif-flûte manque de données suffisamment précises en entrée. Le positionnement Posidonia est bruité et sous-échantillonné. La centrale d'attitude ne délivre que des informations incomplètes (roulis, tangage, cap et accélération verticale). Cette instrumentation ne permet pas de reconstituer les mouvements 3D en tête de flûte avec la précision suffisante.

Le principal point de désaccord entre les mesures et les résultats de simulation porte sur l'amortissement des variations de tangage le long de la flûte.



Les mouvements horizontaux en tête de flûte, dans la bande de fréquence [0.04 0.5Hz] n'ont pas pu être représentés correctement dans la simulation. Ces mouvements, selon l'axe de la flûte, sont peu amortis. Ils peuvent se traduire par des variations de tangage de long de la flûte :

- soit par excitation d'un "festonnement dynamique"
- soit parce que les mini-centrales d'attitude MEMS délivrent un tangage "contaminé" par l'accélération selon l'axe de la flûte.

Si une refonte du Sysif est envisagée, des améliorations peuvent être apportées pour corriger tous les points qui ont été mentionnés ci-dessus. La simulation numérique pourrait alors apporter une meilleure contribution à la reconstitution de la géométrie de la flûte.