I.N.R.S

Laboratoire hydraulique environnemental
Caractérisation du canal

Rapport

Bernard Long

Avec la collaboration de

Corinne B. Brunelle

15/03/2013

ISBN : 978-2-89146-793-3

Table des matières

Liste des figures 4
Liste des tableaux 25
Liste des équations 26
1. Introduction - Canal hydraulique 27
1.1 O.H. Hinsdale Wave Research Laboratory (WRL) 28
1.2 L'Institut néerlandais - Data Technology (Deltares) 28
1.3 Port and Airport Research Institute (PARI), Japon 29
1.4 GWK Large Wave Flume, Allemagne 29
1.5 Maritime Engineering Laboratory (LIM)- Catalonia University of Technology, Espagne 29
2. Théorie sur les vagues régulière 30
2.1. Théorie linéaire 31
2.1.1. Vitesse, longueur d'onde et période 32
2.1.2 Vitesses et accélérations locales 34
2.1.3 Déplacement des particules 34
2.1.4 Vitesse de groupe 35
2.1.5 Énergie et puissance des vagues 35
2.1.6 Stress radiatif 35
2.2 Théories non-linéaires 38
2.2.1 Théorie de Stokes 38
2.2.2 Inclinaison maximum de la pente de la vague 39
2.3 Autres théories 39
2.3.1 Théorie non-linéaire des vagues en eau peu profonde 39
2.3.2 Théorie de Boussinesq 40
2.3.3 Théorie cnoïdale 40
2.3.4 Théorie de Fenton 40
2.3.5. Déferlement 41
2.3.6 Limite de validité des théories 41
3. Objectifs et hypothèses 44
4. Matériel et méthodes 45
4.1 Appareils de mesure et système d'acquisition 46
4.1.1 Propriétés du canal 46
4.1.2 Hauteur des vagues 46
4.1.2 Vitesse de courants 46

4.2 Expérimentation 47
Expérience 1 47
Expérience 2 47
Expérience 3 48
4.3 Analyse et traitement de données 50
4.3.1 Matrice de rotation 50
4.3.2 Visualisation des données 52
5. Résultats 53
5.1 Expérience 1 53
5.1.1 Vectrino II 53
5.1.2 Vectrino I 61
5.1.2 Niveau d'eau 71
5.2 Expérience 2 73
5.2.1 Profondeur d'eau (d) de 2,5 mètres et hauteur de vague (H) de 0,5 mètre 75
5.2.2 Profondeur d'eau (d) de 2,5 mètres et hauteur de vague (H) de 1 mètre 107
5.2.3 Profondeur d'eau (d) de 2,5 mètres et hauteur de vague (H) de 1,5 mètre 135
5.2.4 Profondeur d'eau (d) de 3 mètres et hauteur de vague (H) de 0,5 mètre 142
5.2.5 Profondeur d'eau (d) de 3 mètres et hauteur de vague (H) de 1 mètre 171
5.2.6 Profondeur d'eau (d) de 3 mètres et hauteur de vague (H) de 1,5 mètre 199
5.2.7 Profondeur d'eau (d) de 3,5 mètres et hauteur de vague (H) de 0,5 mètre 211
5.2.8 Profondeur d'eau (d) de 3,5 mètres et hauteur de vague (H) de 1 mètre 249
5.2.9 Profondeur d'eau (d) de 3,5 mètres et hauteur de vague (H) de 1,5 mètre 276
5.3 Expérience 3 287
5.3.1 Vectrino II 287
5.3.2 Vectrino I 293
5.3.3 Niveau d'eau 298
6. Conclusion et recommandations 301
Bibliographie 302

Liste des figures

Figure 1. Courbe de performance pour la génération de vagues dans le canal - WRL 28
Figure 2. Courbes de performances théoriques de batteurs..... 28
Figure 3. Canal de l'INRS-ETE (Québec, Canada)..... 29
Figure 4. Définition des paramètres nécessaire à la caractérisation de vagues élémentaires, sinusoïdales et progressives..... 31
Figure 5. Validité des théories en fonction des paramètres H et T (Le Méhauté, 1976) 41
Figure 6. Montage réalisé pour le test d'étalonnage des appareils Vectrino II; les deux appareils se déplaçant à la même vitesse dans l'axe longitudinal (X) du canal. 47
Figure 7. Montage de l'expérience 1 48
Figure 8. Attaché au pont roulant, le diffuseur situé devant le batteur est retiré. 48
Figure 9. Montage de l'expérience 3; 2 Vectrino II, 3 Vectrino I et 4 jauges de hauteur. 49
Figure 10. Photographie de la station 1 et du montage de l'expérience 3 comprenant 2 Vectrino II et 3 Vectrino I 49
Figure 11. Matrice de rotation pour l'appareil Vectrino I - 8199 (St. 5 haut) pour l'expérience 1; rotation autour de l'axe des X dans le sens anti-horaire de 90^0. 50
Figure 12. Matrice de rotation pour l'appareil Vectrino I - 8204 (St. 5 bas) pour l'expérience 1; rotation autour de l'axe des Z dans le sens anti-horaire de 180^0. 50
Figure 13. Matrice de rotation pour l'appareil Vectrino II - 8126 (St. 1) dans l'expérience 3; rotation autour de l'axe des Y dans le sens anti-horaire vu d'en dessous de 30^0. 51
Figure 14. Matrice de rotation pour l'appareil Vectrino II - 8126 (St. 1) dans l'expérience 3; rotation autour de l'axe des X dans le sens horaire de 90^0. 51
Figure 15. Distribution des vecteurs de vitesse des courants dans les cellules telle que mesurée par les appareils Vectrino II 52
Figure 16. Vitesses des appareils Vectrino II se déplaçant le long du canal dans le plan XY, parallèles à l'axe des Y, à 0,15 m s^{-1}..... 53
Figure 17. Vitesses des appareils Vectrino II se déplaçant le long du canal dans le plan XY, parallèles à l'axe des Y, à 0,20 m s^{-1}..... 54
Figure 18. Vitesses des appareils Vectrino II se déplaçant le long du canal dans le plan XY, parallèles à l'axe des Y, à 0,30 m s^{-1}..... 54
Figure 19. Vitesses des appareils Vectrino II se déplaçant le long du canal dans le plan XY, parallèles à l'axe des Y, à 0,40 m s^{-1}..... 55
Figure 20. Vitesses des appareils Vectrino II se déplaçant le long du canal dans le plan XY, parallèles à l'axe des Y, à 0,50 m s^{-1}..... 55
Figure 21. Vitesses des appareils Vectrino II se déplaçant le long du canal dans le plan XY, parallèles à l'axe des Y, à 0,60 m s^{-1}..... 56
Figure 22. Niveaux d'eau enregistrés aux stations 1, 3, 5 et 7 pour une profondeur d'eau de 2,5 mètres, des vagues de 0,5 mètre de hauteur et des périodes de 1, 5, 2, 4, 6, 8 et 10 secondes respectivement. 75
Figure 23. Niveaux d'eau enregistrés à la station 7 pour une profondeur d'eau de 2,5 mètres, des vagues de 0,5 mètre de hauteur et des périodes de 1, 5, 2, 4, 6, 8 et 10 secondes respectivement. 75
Figure 24. Transformée de Fourier : Résultats de l'analyse spectrale pour une profondeur d'eau de 2,5 m et une hauteur de vague de 0,5 m en fonction des différentes périodes de 1,5 s (0,67

Hz), 2 s (0,50 Hz), 4 s (0,25 Hz), 6 s (0,17 Hz), 8 s (0,13 Hz) et 10 s (0,10Hz) pour les quatre stations d'échantillonnage du canal. 77
Figure 25. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino I situés en haut des quatre stations (a, b, c et d) pour une profondeur (d) de 2,5 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 1,5 s (N=2000) 78
Figure 26. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino I situés au bas des quatre stations (a, b, c et d) pour une profondeur (d) de 2,5 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 1,5 s (N=2000) 79
Figure 27. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino II situés au fond du canal aux stations a) 1 et b) 3 pour une profondeur (d) de 2,5 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 1,5 s (N=2000) 80
Figure 28. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XY) à la station 1 pour une profondeur (d) de 2,5 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 1,5 s (n = 1000 à 1029) 81
Figure 29. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan vertical (XZ) à la station 1 pour une profondeur (d) de 2,5 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 1,5 s (n = 1000 à 1029) 81
Figure 30. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XY) à la station 3 pour une profondeur (d) de 2,5 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 1,5 s (n = 1070 à 1099) 82
Figure 31. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan vertical (XZ) à la station 3 pour une profondeur (d) de 2,5 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 1,5 s (n = 1070 à 1099) 82
Figure 32. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino I situés en haut des quatre stations (a, b, c et d) pour une profondeur (d) de 2,5 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 2 s (N=1500) 83
Figure 33. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino I situés au bas des quatre stations (a, b, c et d) pour une profondeur (d) de 2,5 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 2 s (N=1500) 84
Figure 34. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino II situés au fond du canal aux stations a) 1 et b) 3 pour une profondeur (d) de 2,5 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 2 s (N=2500) 85
Figure 35. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XY) à la station 1 pour une profondeur (d) de 2,5 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 2 s (n = 2000 à 2039) 86
Figure 36. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan vertical (XZ) à la station 1 pour une profondeur (d) de 2,5 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 2 s (n = 2000 à 2039) 86
Figure 37. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XY) à la station 3 pour une profondeur (d) de 2,5 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 2 s (n = 2052 à 2091) 87
Figure 38. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan vertical (XZ) à la station 3 pour une profondeur (d) de 2,5 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 2 s (n = 2052 à 2091) 87

Figure 39. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino I situés en haut des quatre stations (a, b, c et d) pour une profondeur (d) de 2,5 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 4 s (N=1600) 88
Figure 40. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino I situés au bas des quatre stations (a, b, c et d) pour une profondeur (d) de 2,5 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 4 s (N=1600) 89
Figure 41. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino II situés au fond du canal aux stations a) 1 et b) 3 pour une profondeur (d) de 2,5 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 4 s (N=1600) 90
Figure 42. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XY) à la station 1 pour une profondeur (d) de 2,5 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 4 s (n = 2060 à 2099) 91
Figure 43. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan vertical (XZ) à la station 1 pour une profondeur (d) de 2,5 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 4 s (n = 2060 à 2099) 91
Figure 44. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XY) à la station 3 pour une profondeur (d) de 2,5 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 4 s (n = 2086 à 2125) 92
Figure 45. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan vertical (XZ) à la station 3 pour une profondeur (d) de 2,5 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 4 s (n = 2086à 2125) 92
Figure 46. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino I situés en haut des quatre stations (a, b, c et d) pour une profondeur (d) de 2,5 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 6 s (N=2000) 93
Figure 47. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino I situés au bas des quatre stations (a, b, c et d) pour une profondeur (d) de 2,5 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 6 s (N=2000) 94
Figure 48. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino II situés au fond du canal aux stations a) 1 et b) 3 pour une profondeur (d) de 2,5 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 6 s (N=800) 95
Figure 49. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XY) à la station 1 pour une profondeur (d) de 2,5 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 6 s (n = 990 à 1049) 96
Figure 50. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan vertical (XZ) à la station 1 pour une profondeur (d) de 2,5 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 6 s (n = 990 à 1049) 96
Figure 51. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XY) à la station 3 pour une profondeur (d) de 2,5 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 6 s (n = 3043 à 3102) 97
Figure 52. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan vertical (XZ) à la station 3 pour une profondeur (d) de 2,5 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 6 s (n = 3043 à 3102) 97
Figure 53. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino I situés en haut des quatre stations (a, b, c et d) pour une profondeur (d) de 2,5 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 8 s (N=2000) 98

Figure 54. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino I situés au bas des quatre stations (a, b, c et d) pour une profondeur (d) de 2,5 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 8 s (N=2000) 99
Figure 55. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino II situés au fond du canal aux stations a) 1 (données manquantes) et b) 3 pour une profondeur (d) de 2,5 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 8 s (N=2000) 100
Figure 56. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XY) à la station 3 pour une profondeur (d) de 2,5 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 8 s (n = 2490 à 2549) 101
Figure 57. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan vertical (XZ) à la station 3 pour une profondeur (d) de 2,5 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 8 s (n = 2490 à 2549) 101
Figure 58. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino I situés en haut des quatre stations (a, b, c et d) pour une profondeur (d) de 2,5 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 10 s (N=2000) 102
Figure 59. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino I situés au bas des quatre stations (a, b, c et d) pour une profondeur (d) de 2,5 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 10 s (N=2000) 103
Figure 60. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino II situés au fond du canal aux stations a) 1 et b) 3 pour une profondeur (d) de 2,5 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 10 s (N=2000) 104
Figure 61. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XY) à la station 1 pour une profondeur (d) de 2,5 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 10 s (n = 1950 à 2009) 105
Figure 62. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan vertical (XZ) à la station 1 pour une profondeur (d) de 2,5 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 10 s (n = 1950 à 2009) 105
Figure 63. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XY) à la station 3 pour une profondeur (d) de 2,5 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 10 s (n = 1970 à 2029) 106
Figure 64. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan vertical (XZ) à la station 3 pour une profondeur (d) de 2,5 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 10 s (n = 1970 à 2029) 106
Figure 65. Niveaux d'eau enregistrés aux stations 1, 3, 5 et 7 pour une profondeur d'eau de 2,5 mètres, des vagues de 1 mètre de hauteur et des périodes de 2, 4, 6, 8 et 10 secondes respectivement 107
Figure 66. Niveaux d'eau enregistrés à la station 7 pour une profondeur d'eau de 2,5 mètres, des vagues de 1 mètre de hauteur et des périodes de 2, 4, 6, 8 et 10 secondes respectivement (1,5 seconde manquant) 108
Figure 67. Transformée de Fourier : Résultats de l'analyse spectrale pour une profondeur d'eau de 2,5 m et une hauteur de vague de 1 m en fonction des différentes périodes de 2 s (0,50 Hz), 4 s (0,25 Hz), 6 s (0,17 Hz), 8 s (0,13 Hz) et 10 s (0,10Hz) pour les quatre stations d'échantillonnage du canal 109
Figure 68. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino I situés en haut des quatre stations (a, b, c et d) pour une profondeur (d) de 2,5 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 2 s (N=2000) 110

Figure 69. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino I situés au bas des quatre stations (a, b, c et d) pour une profondeur (d) de 2,5 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 2 s (N=2000) 111
Figure 70. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino II situés au fond du canal aux stations a) 1 et b) 3 pour une profondeur (d) de 2,5 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 2 s (N=2000) 112
Figure 71. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XY) à la station 1 pour une profondeur (d) de 2,5 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 2 s (n = 2206 à 2245) 113
Figure 72. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan vertical (XZ) à la station 1 pour une profondeur (d) de 2,5 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 2s (n = 2206 à 2245) 113
Figure 73. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XY) à la station 3 pour une profondeur (d) de 2,5 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 2 s (n = 2256 à 2295) 114
Figure 74. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan vertical (XZ) à la station 3 pour une profondeur (d) de 2,5 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 2 s (n = 2256 à 2295) 114
Figure 75. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino I situés en haut des quatre stations (a, b, c et d) pour une profondeur (d) de 2,5 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 4 s (N=3000) 115
Figure 76. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino I situés au bas des quatre stations (a, b, c et d) pour une profondeur (d) de 2,5 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 4 s (N=3000) 116
Figure 77. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino II situés au fond du canal aux stations a) 1 et b) 3 pour une profondeur (d) de 2,5 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 4 s (N=2000) 117
Figure 78. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XY) à la station 1 pour une profondeur (d) de 2,5 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 4 s (n = 2260 à 2299) 118
Figure 79. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan vertical (XZ) à la station 1 pour une profondeur (d) de 2,5 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 4 s (n = 2260 à 2299) 118
Figure 80. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XY) à la station 3 pour une profondeur (d) de 2,5 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 4 s (n = 1995 à 2034) 119
Figure 81. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan vertical (XZ) à la station 3 pour une profondeur (d) de 2,5 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 4 s (n = 1995 à 2034) 119
Figure 82. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino I situés en haut des quatre stations (a, b, c et d) pour une profondeur (d) de 2,5 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 6 s (N=1000) 120
Figure 83. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino I situés au bas des quatre stations (a, b, c et d) pour une profondeur (d) de 2,5 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 6 s (N=1000) 121

Figure 84. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino II situés au fond du canal aux stations a) 1 et b) 3 pour une profondeur (d) de 2,5 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 6 s (N=1500) 122
Figure 85. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XY) à la station 1 pour une profondeur (d) de 2,5 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 6 s (n = 1990 à 2049) 123
Figure 86. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan vertical (XZ) à la station 1 pour une profondeur (d) de 2,5 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 6 s (n = 1990 à 2049) 123
Figure 87. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XY) à la station 3 pour une profondeur (d) de 2,5 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 6 s (n = 1995 à 2054) 124
Figure 88. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan vertical (XZ) à la station 3 pour une profondeur (d) de 2,5 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 6 s (n = 1995 à 2054) 124
Figure 89. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino I situés en haut des quatre stations (a, b, c et d) pour une profondeur (d) de 2,5 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 8 s (N=2000) 125
Figure 90. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino I situés au bas des quatre stations (a, b, c et d) pour une profondeur (d) de 2,5 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 8 s (N=2000) 126
Figure 91. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino II situés au fond du canal aux stations a) 1 et b) 3 pour une profondeur (d) de 2,5 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 8 s (N=370) 127
Figure 92. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XY) à la station 1 pour une profondeur (d) de 2,5 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 8 s (n = 495 à 554) 128
Figure 93. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan vertical (XZ) à la station 1 pour une profondeur (d) de 2,5 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 8 s (n = 495 à 554) 128
Figure 94. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XY) à la station 3 pour une profondeur (d) de 2,5 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 8 s (n = 1060 à 1119) 129
Figure 95. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan vertical (XZ) à la station 3 pour une profondeur (d) de 2,5 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 8 s (n = 1060 à 1119) 129
Figure 96. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino I situés en haut des quatre stations (a, b, c et d) pour une profondeur (d) de 2,5 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 10 s (N=1000) 130
Figure 97. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino I situés au bas des quatre stations (a, b, c et d) pour une profondeur (d) de 2,5 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 10 s (N=1000) 131
Figure 98. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino II situés au fond du canal aux stations a) 1 et b) 3 pour une profondeur (d) de 2,5 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 10 s (N=2000) 132

Figure 99. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XY) à la station 1 pour une profondeur (d) de 2,5 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 10 s (n = 4030 à 4089) 133
Figure 100. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan vertical (XZ) à la station 1 pour une profondeur (d) de 2,5 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 10 s (n = 4030 à 4089) 133
Figure 101. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XY) à la station 3 pour une profondeur (d) de 2,5 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 10 s (n = 4060 à 4119) 134
Figure 102. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan vertical (XZ) à la station 3 pour une profondeur (d) de 2,5 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 10 s (n = 4060 à 4119) 134
Figure 103. Niveaux d'eau enregistrés aux stations 1, 3, 5 et 7 pour une profondeur d'eau de 2,5 mètres, des vagues de 1,5 mètre de hauteur une périodes de 6 secondes 135
Figure 104. Niveaux d'eau enregistrés à la station 7 pour une profondeur d'eau de 2,5 mètres, des vagues de 1,5 mètre de hauteur et une périodes de 6 secondes 135
Figure 105. Transformée de Fourier : Résultats de l'analyse spectrale pour une profondeur d'eau de 2,5 m et une hauteur de vague de 1,5 m en fonction de la période de 6 s (0,17 Hz), pour les quatre stations d'échantillonnage du canal 136
Figure 106. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino I situés en haut des quatre stations (a, b, c et d) pour une profondeur (d) de 2,5 m, une hauteur de vague (H) de 1,5 m et une période (T) de 6 s (N=2000) 137
Figure 107. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino I situés au bas des quatre stations (a, b, c et d) pour une profondeur (d) de 2,5 m, une hauteur de vague (H) de 1,5 m et une période (T) de 6 s (N=2000) 138
Figure 108. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino II situés au fond du canal aux stations a) 1 et b) 3 pour une profondeur (d) de 2,5 m, une hauteur de vague (H) de 1,5 m et une période (T) de 6 s (N=3500) 139
Figure 109. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XY) à la station 1 pour une profondeur (d) de 2,5 m, une hauteur de vague (H) de 1,5 m et une période (T) de 6 s (n = 1165 à 1224) 140
Figure 110. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan vertical (XZ) à la station 1 pour une profondeur (d) de 2,5 m, une hauteur de vague (H) de 1,5 m et une période (T) de 6 s (n = 1165 à 1224) 140
Figure 111. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XY) à la station 3 pour une profondeur (d) de 2,5 m, une hauteur de vague (H) de 1,5 m et une période (T) de 6 s (n = 1185 à 1284) 141
Figure 112. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan vertical (XZ) à la station 3 pour une profondeur (d) de 2,5 m, une hauteur de vague (H) de 1,5 m et une période (T) de 6 s (n = 1185 à 1284) 141
Figure 113. Niveaux d'eau enregistrés aux stations 1, 3, 5 et 7 pour une profondeur d'eau de 3 mètres, des vagues de 0,5 mètre de hauteur et des périodes de 1.5, 2, 4, 6, 8 et 10 secondes respectivement 142
Figure 114. Niveaux d'eau enregistrés à la station 7 pour une profondeur d'eau de 3 mètres, des vagues de 0,5 mètre de hauteur et des périodes de 1.5, 2, 4, 6, 8 et 10 secondes respectivement 143

Figure 115. Transformée de Fourier : Résultats de l'analyse spectrale pour une profondeur d'eau de 3 m et une hauteur de vague de 0,5 m en fonction des différentes périodes de 1,5 s (0.67 Hz) 2 s (0,50 Hz), 4 s (0,25 Hz), 6 s (0,17 Hz), 8 s (0,13 Hz) et 10 s (0,10Hz) pour les quatre stations d'échantillonnage du canal 144
Figure 116. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino I situés en haut des quatre stations (a, b, c et d) pour une profondeur (d) de 3 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 1,5 s (N=2000) 145
Figure 117. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino I situés au bas des quatre stations (a, b, c et d) pour une profondeur (d) de 3 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 1,5 s (N=2000) 146
Figure 118. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino II situés au fond du canal aux stations a) 1 et b) 3 pour une profondeur (d) de 3 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 1,5 s (N=3500) 147
Figure 119. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XY) à la station 1 pour une profondeur (d) de 3 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 1,5 s (n = 1600 à 1629) 148
Figure 120. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan vertical (XZ) à la station 1 pour une profondeur (d) de 3 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 1,5 s (n = 1600 à 1629) 148
Figure 121. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XY) à la station 3 pour une profondeur (d) de 3 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 1,5 s (n = 1665 à 1694) 149
Figure 122. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan vertical (XZ) à la station 3 pour une profondeur (d) de 3 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 1,5 s (n = 1665 à 1694) 149
Figure 123. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino I situés en haut des quatre stations (a, b, c et d) pour une profondeur (d) de 3 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 2 s (N=2000) 150
Figure 124. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino I situés au bas des quatre stations (a, b, c et d) pour une profondeur (d) de 3 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 2 s (N=2000) 151
Figure 125. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino II situés au fond du canal aux stations a) 1 et b) 3 pour une profondeur (d) de 3 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 2 s (N=2500) 152
Figure 126. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XY) à la station 1 pour une profondeur (d) de 3 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 2 s (n = 1235 à 1274) 153
Figure 127. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan vertical (XZ) à la station 1 pour une profondeur (d) de 3 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 2 s (n = 1235 à 1274) 153
Figure 128. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XY) à la station 3 pour une profondeur (d) de 3 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 2 s (n = 1285 à 1324) 154
Figure 129. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan vertical (XZ) à la station 3 pour une profondeur (d) de 3 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 2 s (n = 1285 à 1324) 154

Figure 130. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino I situés en haut des quatre stations (a, b, c et d) pour une profondeur (d) de 3 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 4 s (N=2500) 155
Figure 131. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino I situés au bas des quatre stations (a, b, c et d) pour une profondeur (d) de 3 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 4 s (N=2500) 156
Figure 132. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino II situés au fond du canal aux stations a) 1 et b) 3 pour une profondeur (d) de 3 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 4 s (N=2000) 157
Figure 133. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XY) à la station 1 pour une profondeur (d) de 3 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 4 s (n = 1060 à 1099) 158
Figure 134. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan vertical (XZ) à la station 1 pour une profondeur (d) de 3 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 4 s (n = 1060 à 1099) 158
Figure 135. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XY) à la station 3 pour une profondeur (d) de 3 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 4 s (n = 1090 à 1129) 159
Figure 136. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan vertical (XZ) à la station 1 pour une profondeur (d) de 3 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 4 s (n = 1090 à 1129) 159
Figure 137. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino I situés en haut des quatre stations (a, b, c et d) pour une profondeur (d) de 3 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 6 s (N=2000) 160
Figure 138. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino I situés au bas des quatre stations (a, b, c et d) pour une profondeur (d) de 3 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 6 s (N=2000) 161
Figure 139. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino II situés au fond du canal aux stations a) 1 et b) 3 pour une profondeur (d) de 3 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 6 s (N=2000) 162
Figure 140. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XY) à la station 1 pour une profondeur (d) de 3 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 6 s (n = 1250 à 1309) 163
Figure 141. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan vertical (XZ) à la station 1 pour une profondeur (d) de 3 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 6 s (n = 1250 à 1309) 163
Figure 142. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XY) à la station 3 pour une profondeur (d) de 3 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 6 s (n = 1290 à 1349) 164
Figure 143. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan vertical (XZ) à la station 1 pour une profondeur (d) de 3 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 6 s (n = 1290 à 1349) 164
Figure 144. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino I situés en haut des quatre stations (a, b, c et d) pour une profondeur (d) de 3 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 8 s (N=2500) 165

Figure 145. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino I situés au bas des quatre stations (a, b, c et d) pour une profondeur (d) de 3 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 8 s (N=2500) 166
Figure 146. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino I situés en haut des quatre stations (a, b, c et d) pour une profondeur (d) de 3 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 10 s (N=1000) 167
Figure 147. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino I situés au bas des quatre stations (a, b, c et d) pour une profondeur (d) de 3 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 10 s (N=1000) 168
Figure 148. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino II situés au fond du canal aux stations a) 1 et b) 3 pour une profondeur (d) de 3 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 10 s (N=2000) 169
Figure 149. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XY) à la station 3 pour une profondeur (d) de 3 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 10 s (n = 1970 à 2049) 170
Figure 150. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan vertical (XZ) à la station 3 pour une profondeur (d) de 3 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 10 s (n = 1970 à 2049) 170
Figure 151. Niveaux d'eau enregistrés aux stations 1, 3, 5 et 7 pour une profondeur d'eau de 3 mètres, des vagues de 1 mètre de hauteur et des périodes de 4, 6, 8 et 10 secondes respectivement. 171
Figure 152. Niveaux d'eau enregistrés à la station 7 pour une profondeur d'eau de 3 mètres, des vagues de 1 mètre de hauteur et des périodes de 4, 6, 8 et 10 secondes respectivement. 172
Figure 153. Transformée de Fourier : Résultats de l'analyse spectrale pour une profondeur d'eau de 3 m et une hauteur de vague de 1 m en fonction des différentes périodes de 4 s (0,25 Hz), 6 s (0,17 Hz), 8 s (0,13 Hz) et 10 s (0,10Hz) pour les quatre stations d'échantillonnage du canal (série 12 secondes manquante) 173
Figure 154. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino I situés en haut des quatre stations (a, b, c et d) pour une profondeur (d) de 3 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 4 s (N=2500) 174
Figure 155. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino I situés au bas des quatre stations (a, b, c et d) pour une profondeur (d) de 3 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 4 s (N=2500) 175
Figure 156. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino II situés au fond du canal aux stations a) 1 et b) 3 pour une profondeur (d) de 3 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 4s (N=3000) 176
Figure 157. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XY) à la station 1 pour une profondeur (d) de 3 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 4 s (n = 2145 à 2184) 177
Figure 158. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan vertical (XZ) à la station 1 pour une profondeur (d) de 3 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 4 s (n = 2145 à 2184) 177
Figure 159. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XY) à la station 3 pour une profondeur (d) de 3 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 4 s (n = 2190 à 2229) 178

Figure 160. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XZ) à la station 3 pour une profondeur (d) de 3 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 4 s (n = 2190 à 2229) 178
Figure 161. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino I situés en haut des quatre stations (a, b, c et d) pour une profondeur (d) de 3 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 6 s (N=2000) 179
Figure 162. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino I situés au bas des quatre stations (a, b, c et d) pour une profondeur (d) de 3 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 6 s (N=2000) 180
Figure 163. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino II situés au fond du canal aux stations a) 1 et b) 3 pour une profondeur (d) de 3 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 6 s (N=2000) 181
Figure 164. Vitesse en X de l'appareil Vectrino II de au fond du canal de la station 3 pour une profondeur (d) de 3 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 6 s 181
Figure 165. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XY) à la station 1 pour une profondeur (d) de 3 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 6 s (n = 2170 à 2229) 182
Figure 166. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XZ) à la station 1 pour une profondeur (d) de 3 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 6 s (n = 2170 à 2229) 182
Figure 167. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XY) à la station 3 pour une profondeur (d) de 3 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 6 s (n = 2180 à 2239) 183
Figure 168. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XZ) à la station 3 pour une profondeur (d) de 3 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 6 s (n = 2180 à 2239) 183
Figure 169. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino I situés en haut des quatre stations (a, b, c et d) pour une profondeur (d) de 3 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 8 s (N=1000) 184
Figure 170. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino I situés au bas des quatre stations (a, b, c et d) pour une profondeur (d) de 3 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 8 s (N=3000) 185
Figure 171. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino II situés au fond du canal aux stations a) 1 et b) 3 pour une profondeur (d) de 3 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 8 s (N=3000) 186
Figure 172. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XY) à la station 1 pour une profondeur (d) de 3 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 8 s (n = 2260 à 2339) 187
Figure 173. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XZ) à la station 1 pour une profondeur (d) de 3 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 8 s (n = 2260 à 2339) 187
Figure 174. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XY) à la station 3 pour une profondeur (d) de 3 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 8 s (n = 2330 à 2409) 188

Figure 175. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XZ) à la station 3 pour une profondeur (d) de 3 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 8 s (n = 2330 à 2409) 188
Figure 176. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino I situés en haut des quatre stations (a, b, c et d) pour une profondeur (d) de 3 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 10 s (N=1000) 189
Figure 177. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino I situés au bas des quatre stations (a, b, c et d) pour une profondeur (d) de 3 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 10 s (N=2000) 190
Figure 178. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino II situés au fond du canal aux stations a) 1 et b) 3 pour une profondeur (d) de 3 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 10 s (N=2000) 191
Figure 179. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XY) à la station 1 pour une profondeur (d) de 3 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 10 s (n = 2255 à 2334) 192
Figure 180. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XZ) à la station 1 pour une profondeur (d) de 3 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 10 s (n = 2255 à 2334) 192
Figure 181. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XY) à la station 3 pour une profondeur (d) de 3 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 10 s (n = 2270 à 2349) 193
Figure 182. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XZ) à la station 3 pour une profondeur (d) de 3 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 10 s (n = 2270 à 2349) 193
Figure 183. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino I situés en haut des quatre stations (a, b, c et d) pour une profondeur (d) de 3 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 12 s (N=3000) 194
Figure 184. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino I situés au bas des quatre stations (a, b, c et d) pour une profondeur (d) de 3 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 12 s (N=3000) 195
Figure 185. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino II situés au fond du canal aux stations a) 1 et b) 3 pour une profondeur (d) de 3 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 12 s (N=1500) 196
Figure 186. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XY) à la station 1 pour une profondeur (d) de 3 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 12 s (n = 2000 à 2099) 197
Figure 187. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XZ) à la station 1 pour une profondeur (d) de 3 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 12 s (n = 2000 à 2099) 197
Figure 188. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XY) à la station 3 pour une profondeur (d) de 3 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 12 s (n = 2060 à 2159) 198
Figure 189. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XZ) à la station 3 pour une profondeur (d) de 3 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 12 s (n = 2060 à 2159) 198

Figure 190. Niveaux d'eau enregistrés aux stations 1, 3, 5 et 7 pour une profondeur d'eau de 3 mètres, des vagues de 1,5 mètre de hauteur et des périodes de 6 et 8 secondes respectivement. 199
Figure 191. Niveaux d'eau enregistrés à la station 7 pour une profondeur d'eau de 3 mètres, des vagues de 1,5 mètre de hauteur et des périodes de 6 et 8 secondes respectivement. 199
Figure 192. Transformée de Fourier : Résultats de l'analyse spectrale pour une profondeur d'eau de 3 m et une hauteur de vague de 1,5 m en fonction des différentes périodes de 6 s (0,17 Hz) et 8 s (0,13 Hz) et 10 s (0,10Hz) pour les quatre stations d'échantillonnage du canal..... 200
Figure 193. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino I situés en haut des quatre stations (a, b, c et d) pour une profondeur (d) de 3 m, une hauteur de vague (H) de 1,5 m et une période (T) de 6 s (N=1000) 201
Figure 194. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino I situés au bas des quatre stations (a, b, c et d) pour une profondeur (d) de 3 m, une hauteur de vague (H) de 1,5 m et une période (T) de 6 s (N=1000) 202
Figure 195. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino II situés au fond du canal aux stations a) 1 et b) 3 pour une profondeur (d) de 3 m, une hauteur de vague (H) de 1,5 m et une période (T) de 6 s (N=1500) 203
Figure 196. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XY) à la station 1 pour une profondeur (d) de 3 m, une hauteur de vague (H) de 1,5 m et une période (T) de 6 s (n = 2000 à 2099)..... 204
Figure 197. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XZ) à la station 1 pour une profondeur (d) de 3 m, une hauteur de vague (H) de 1,5 m et une période (T) de 6 s (n = 2000 à 2099)..... 204
Figure 198. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XY) à la station 3 pour une profondeur (d) de 3 m, une hauteur de vague (H) de 1,5 m et une période (T) de 6 s (n = 2060 à 2159)..... 205
Figure 199. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XZ) à la station 3 pour une profondeur (d) de 3 m, une hauteur de vague (H) de 1,5 m et une période (T) de 6 s (n = 2060 à 2159)..... 205
Figure 200. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino I situés en haut des quatre stations (a, b, c et d) pour une profondeur (d) de 3 m, une hauteur de vague (H) de 1,5 m et une période (T) de 8 s (N=3000) 206
Figure 201. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino I situés au bas des quatre stations (a, b, c et d) pour une profondeur (d) de 3 m, une hauteur de vague (H) de 1,5 m et une période (T) de 8 s (N=3000) 207
Figure 202. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino II situés au fond du canal aux stations a) 1 et b) 3 pour une profondeur (d) de 3 m, une hauteur de vague (H) de 1,5 m et une période (T) de 8 s (N=2000) 208
Figure 203. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XY) à la station 1 pour une profondeur (d) de 3 m, une hauteur de vague (H) de 1,5 m et une période (T) de 8 s (n = 2185 à 2254)..... 209
Figure 204. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XZ) à la station 1 pour une profondeur (d) de 3 m, une hauteur de vague (H) de 1,5 m et une période (T) de 8 s (n = 2185 à 2254)..... 209

Figure 205. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XY) à la station 3 pour une profondeur (d) de 3 m, une hauteur de vague (H) de 1,5 m et une période (T) de 8 s (n = 2195 à 2264)..... 210
Figure 206. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XZ) à la station 3 pour une profondeur (d) de 3 m, une hauteur de vague (H) de 1,5 m et une période (T) de 8 s (n = 2195 à 2264)..... 210
Figure 207. Niveaux d'eau enregistrés aux stations 1, 3, 5 et 7 pour une profondeur d'eau de 3,5 mètres, des vagues de 0,5 mètre de hauteur et des périodes de 1,5, 2, 4, 6, 8 et 10 secondes respectivement. 211
Figure 208. Niveaux d'eau enregistrés à la station 7 pour une profondeur d'eau de 3,5 mètres, des vagues de 0,5 mètre de hauteur et des périodes de 1.5, 2, 4, 6, 8 et 10 secondes respectivement. 212
Figure 209. Transformée de Fourier : Résultats de l'analyse spectrale pour une profondeur d'eau de 3,5 m et une hauteur de vague de 0,5 m en fonction des différentes périodes de 1,5 s (0,67 Hz), 4 s (0,25 Hz), 6 s (0,17 Hz), 8 s (0,13 Hz) et 10 s (0,10Hz) pour les quatre stations d'échantillonnage du canal 213
Figure 210. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino I situés en haut des quatre stations (a, b, c et d) pour une profondeur (d) de 3,5 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 1,5 s (N=2000)..... 214
Figure 211. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino I situés au bas des quatre stations (a, b, c et d) pour une profondeur (d) de 3,5 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 1,5 s (N=2000)..... 215
Figure 212. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino II situés au fond du canal aux stations a) 1 et b) 3 pour une profondeur (d) de 3,5 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 1,5 s (N=500) 216
Figure 213. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XY) à la station 1 pour une profondeur (d) de 3,5 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 1,5 s (n = 900 à 914) 217
Figure 214. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XZ) à la station 1 pour une profondeur (d) de 3,5 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 1,5 s (n = 900 à 914) 217
Figure 215. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XY) à la station 3 pour une profondeur (d) de 3,5 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 1,5 s (n = 950 à 964) 218
Figure 216. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XZ) à la station 3 pour une profondeur (d) de 3,5 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 1,5 s (n = 950 à 964) 218
Figure 217. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino I situés en haut des quatre stations (a, b, c et d) pour une profondeur (d) de 3,5 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 2 s (N=1500)..... 219
Figure 218. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino I situés au bas des quatre stations (a, b, c et d) pour une profondeur (d) de 3,5 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 2 s (N=1500)..... 220
Figure 219. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino II situés au fond du canal aux stations a) 1 et b) 3 pour une profondeur (d) de 3,5 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 2 s (N=3000) (points en dehors de l'étendue montrée). 221

Figure 220. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XY) à la station 1 pour une profondeur (d) de 3,5 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 2 s (n = 3750 à 3769)..... 222
Figure 221. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XZ) à la station 1 pour une profondeur (d) de 3,5 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 2 s (n = 3750 à 3769)..... 222
Figure 222. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XY) à la station 3 pour une profondeur (d) de 3,5 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 2 s (n = 3800 à 3819)..... 223
Figure 223. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XZ) à la station 3 pour une profondeur (d) de 3,5 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 2 s (n = 3800 à 3819)..... 223
Figure 224. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino I situés en haut des quatre stations (a, b, c et d) pour une profondeur (d) de 3,5 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 4 s (N=2000)..... 224
Figure 225. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino I situés au bas des quatre stations (a, b, c et d) pour une profondeur (d) de 3,5 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 4 s (N=2000)..... 225
Figure 226. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino II situés au fond du canal aux stations a) 1 et b) 3 pour une profondeur (d) de 3,5 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 4 s (N=3000)..... 226
Figure 227. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XY) à la station 1 pour une profondeur (d) de 3,5 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 4 s (n = 2300 à 2339)..... 227
Figure 228. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XZ) à la station 1 pour une profondeur (d) de 3,5 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 4 s (n = 2300 à 2339)..... 227
Figure 229. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XY) à la station 3 pour une profondeur (d) de 3,5 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 4 s (n = 2360 à 2399)..... 228
Figure 230. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XZ) à la station 3 pour une profondeur (d) de 3,5 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 4 s (n = 2360 à 2399)..... 228
Figure 231. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino I situés en haut des quatre stations (a, b, c et d) pour une profondeur (d) de 3,5 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 6 s (N=2500)..... 229
Figure 232. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino I situés au bas des quatre stations (a, b, c et d) pour une profondeur (d) de 3,5 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 6 s (N=2500)..... 230
Figure 233. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino II situés au fond du canal aux stations a) 1 et b) 3 pour une profondeur (d) de 3,5 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 6 s (N=3000)..... 231
Figure 234. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XY) à la station 1 pour une profondeur (d) de 3,5 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 6 s (n = 2310 à 2349)..... 232

Figure 235. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XZ) à la station 1 pour une profondeur (d) de 3,5 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 6 s (n = 2310 à 2349)..... 232
Figure 236. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XY) à la station 3 pour une profondeur (d) de 3,5 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 6 s (n = 2320 à 2359)..... 233
Figure 237. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XZ) à la station 3 pour une profondeur (d) de 3,5 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 6 s (n = 2320 à 2359)..... 233
Figure 238. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino I situés en haut des quatre stations (a, b, c et d) pour une profondeur (d) de 3,5 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 8 s (N=2500)..... 234
Figure 239. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino I situés au bas des quatre stations (a, b, c et d) pour une profondeur (d) de 3,5 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 8 s (N=2500)..... 235
Figure 240. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino II situés au fond du canal aux stations a) 1 et b) 3 pour une profondeur (d) de 3,5 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 8 s (N=3000)..... 236
Figure 241. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XY) à la station 1 pour une profondeur (d) de 3,5 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 8 s (n = 2100 à 2179)..... 237
Figure 242. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XZ) à la station 1 pour une profondeur (d) de 3,5 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 8 s (n = 2100 à 2179)..... 237
Figure 243. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XY) à la station 3 pour une profondeur (d) de 3,5 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 8 s (n = 2120 à 2199)..... 238
Figure 244. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XZ) à la station 3 pour une profondeur (d) de 3,5 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 8 s (n = 2120 à 2199)..... 238
Figure 245. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino I situés en haut des quatre stations (a, b, c et d) pour une profondeur (d) de 3,5 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 10 s (N=4000)..... 239
Figure 246. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino I situés au bas des quatre stations (a, b, c et d) pour une profondeur (d) de 3,5 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 10 s (N=4000)..... 240
Figure 247. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino II situés au fond du canal aux stations a) 1 et b) 3 pour une profondeur (d) de 3,5 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 10 s (N=3000)..... 241
Figure 248. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XY) à la station 1 pour une profondeur (d) de 3,5 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 10 s (n = 2180 à 2259)..... 242
Figure 249. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XZ) à la station 1 pour une profondeur (d) de 3,5 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 10 s (n = 2180 à 2259)..... 242

Figure 250. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XY) à la station 3 pour une profondeur (d) de 3,5 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 10 s (n = 2150 à 2229)..... 243
Figure 251. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XZ) à la station 3 pour une profondeur (d) de 3,5 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 10 s (n = 2150 à 2229)..... 243
Figure 252. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino I situés en haut des quatre stations (a, b, c et d) pour une profondeur (d) de 3,5 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 10 s (N=3000) 244
Figure 253. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino I situés au bas des quatre stations (a, b, c et d) pour une profondeur (d) de 3,5 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 10 s (N=3000) 245
Figure 254. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino II situés au fond du canal aux stations a) 1 et b) 3 pour une profondeur (d) de 3,5 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 12 s (N=2000)..... 246
Figure 255. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XY) à la station 1 pour une profondeur (d) de 3,5 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 10 s (n = 2020 à 2119)..... 247
Figure 256. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XZ) à la station 1 pour une profondeur (d) de 3,5 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 10 s (n = 2020 à 2119)..... 247
Figure 257. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XY) à la station 3 pour une profondeur (d) de 3,5 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 10 s (n = 2080 à 2179)..... 248
Figure 258. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XZ) à la station 3 pour une profondeur (d) de 3,5 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 10 s (n = 2080 à 2179)..... 248
Figure 259. Niveaux d'eau enregistrés aux stations 1, 3, 5 et 7 pour une profondeur d'eau de 3,5 mètres, des vagues de 1 mètre de hauteur et des périodes de 2, 4, 6, 8 et 10 secondes respectivement. 249
Figure 260. Niveaux d'eau enregistrés à la station 7 pour une profondeur d'eau de 3,5 mètres, des vagues de 1 mètre de hauteur et des périodes de 2,4, 6, 8 et 10 secondes respectivement. 250
Figure 261. Transformée de Fourier : Résultats de l'analyse spectrale pour une profondeur d'eau de 3,5 m et une hauteur de vague de 1 m en fonction des différentes périodes de 4 s (0,25 Hz), 6 s (0,17 Hz), 8 s (0,13 Hz) et 10 s (0,10Hz) pour les quatre stations d'échantillonnage du canal 251
Figure 262. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino I situés en haut des quatre stations (a, b, c et d) pour une profondeur (d) de 3,5 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 2 s (N=3000)..... 252
Figure 263. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino I situés au bas des quatre stations (a, b, c et d) pour une profondeur (d) de 3,5 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 2 s (N=3000) 253
Figure 264. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino II situés au fond du canal à la stations a) 1 pour une profondeur (d) de 3,5 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 2 s (N=3000) 254

Figure 265. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XY) à la station 1 pour une profondeur (d) de 3,5 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 2 s (n = 2020 à 2119)..... 255
Figure 266. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XZ) à la station 1 pour une profondeur (d) de 3,5 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 2 s (n = 2020 à 2119)..... 255
Figure 267. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino I situés en haut des quatre stations (a, b, c et d) pour une profondeur (d) de 3,5 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 4 s (N=3000)..... 256
Figure 268. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino I situés au bas des quatre stations (a, b, c et d) pour une profondeur (d) de 3,5 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 4 s (N=3000)..... 257
Figure 269. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino II situés au fond du canal aux stations a) 1 et b) 3 pour une profondeur (d) de 3,5 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 4 s (N=2500)..... 258
Figure 270. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XY) à la station 1 pour une profondeur (d) de 3,5 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 4 s (n = 1150 à 1189)..... 259
Figure 271. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XZ) à la station 1 pour une profondeur (d) de 3,5 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 4 s (n = 1150 à 1189)..... 259
Figure 272. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XY) à la station 1 pour une profondeur (d) de 3,5 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 4 s (n = 1190 à 1229)..... 260
Figure 273. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XZ) à la station 1 pour une profondeur (d) de 3,5 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 4 s (n = 1190 à 1229)..... 260
Figure 274. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino I situés en haut des quatre stations (a, b, c et d) pour une profondeur (d) de 3,5 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 6 s (N=1500)..... 261
Figure 275. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino I situés au bas des quatre stations (a, b, c et d) pour une profondeur (d) de 3,5 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 6 s (N=1500)..... 262
Figure 276. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino II situés au fond du canal aux stations a) 1 et b) 3 pour une profondeur (d) de 3,5 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 6 s (N=3000)..... 263
Figure 277. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XY) à la station 1 pour une profondeur (d) de 3,5 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 6 s (n = 1840 à 1899)..... 264
Figure 278. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XZ) à la station 1 pour une profondeur (d) de 3,5 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 6 s (n = 1840 à 1899)..... 264
Figure 279. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XY) à la station 3 pour une profondeur (d) de 3,5 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 6 s (n = 1900 à 1959)..... 265

Figure 280. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XZ) à la station 3 pour une profondeur (d) de 3,5 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 6 s (n = 1900 à 1959)..... 265
Figure 281. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino I situés en haut des quatre stations (a, b, c et d) pour une profondeur (d) de 3,5 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 10 s (N=2000)..... 266
Figure 282. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino I situés au bas des quatre stations (a, b, c et d) pour une profondeur (d) de 3,5 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 10 s (N=2000)..... 267
Figure 283. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino II situés au fond du canal aux stations a) 1 et b) 3 pour une profondeur (d) de 3,5 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 10 s (N=2000)..... 268
Figure 284. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XY) à la station 1 pour une profondeur (d) de 3,5 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 10 s (n = 1790 à 1869)..... 269
Figure 285. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XZ) à la station 1 pour une profondeur (d) de 3,5 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 10 s (n = 1790 à 1869)..... 269
Figure 286. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XY) à la station 3 pour une profondeur (d) de 3,5 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 10 s (n = 1870 à 1949)..... 270
Figure 287. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XZ) à la station 3 pour une profondeur (d) de 3,5 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 10 s (n = 1870 à 1949)..... 270
Figure 288. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino I situés en haut des quatre stations (a, b, c et d) pour une profondeur (d) de 3,5 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 12 s (N=2000)..... 271
Figure 289. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino I situés au bas des quatre stations (a, b, c et d) pour une profondeur (d) de 3,5 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 12 s (N=2000)..... 272
Figure 290. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino II situés au fond du canal aux stations a) 1 et b) 3 pour une profondeur (d) de 3,5 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 12 s (N=2000)..... 273
Figure 291. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XY) à la station 1 pour une profondeur (d) de 3,5 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 12 s (n = 2825 à 2924)..... 274
Figure 292. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XZ) à la station 1 pour une profondeur (d) de 3,5 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 12 s (n = 2825 à 2924)..... 274
Figure 293. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XY) à la station 3 pour une profondeur (d) de 3,5 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 12 s (n = 2935 à 3034)..... 275
Figure 294. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XZ) à la station 3 pour une profondeur (d) de 3,5 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 12 s (n = 2935 à 3034)..... 275

Figure 295. Niveaux d'eau enregistrés aux stations 1, 3, 5 et 7 pour une profondeur d'eau de 3,5 mètres, des vagues de 1,5 mètre de hauteur et des périodes de 4 et 6 secondes 276
Figure 296. Niveaux d'eau enregistrés à la station 7 pour une profondeur d'eau de 3,5 mètres, des vagues de 1,5 mètre de hauteur et des périodes de 4 et 6secondes respectivement. 276
Figure 297. Transformée de Fourier : Résultats de l'analyse spectrale pour une profondeur d'eau de 3,5 m et une hauteur de vague de 1,5 m en fonction des différentes périodes de 4 s (0,25 Hz) et 6 s (0,17 Hz) pour les quatre stations d'échantillonnage du canal 277
Figure 298. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino I situés en haut des quatre stations (a, b, c et d) pour une profondeur (d) de 3,5 m, une hauteur de vague (H) de 1,5 m et une période (T) de 4 s (N=2500) 278
Figure 299. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino I situés en haut des quatre stations (a, b, c et d) pour une profondeur (d) de 3,5 m, une hauteur de vague (H) de 1,5 m et une période (T) de 4 s (N=2500) 279
Figure 300. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino II situés au fond du canal aux stations a) 1 et b) 3 pour une profondeur (d) de 3,5 m, une hauteur de vague (H) de 1,5 m et une période (T) de 4 s (N=2000) 280
Figure 301. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XY) à la station 1 pour une profondeur (d) de 3,5 m, une hauteur de vague (H) de 1,5 m et une période (T) de 4 s (n = 2495 à 2534) 281
Figure 302. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XZ) à la station 1 pour une profondeur (d) de 3,5 m, une hauteur de vague (H) de 1,5 m et une période (T) de 4 s (n = 2495 à 2534) 281
Figure 303. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XY) à la station 3 pour une profondeur (d) de 3,5 m, une hauteur de vague (H) de 1,5 m et une période (T) de 4 s (n = 2520 à 2559) 282
Figure 304. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XZ) à la station 3 pour une profondeur (d) de 3,5 m, une hauteur de vague (H) de 1,5 m et une période (T) de 4 s (n = 2520 à 2559) 282
Figure 305. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino I situés en haut des quatre stations (a, b, c et d) pour une profondeur (d) de 3,5 m, une hauteur de vague (H) de 1,5 m et une période (T) de 6 s (N=2000) 283
Figure 306. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino I situés au bas des quatre stations (a, b, c et d) pour une profondeur (d) de 3,5 m, une hauteur de vague (H) de 1,5 m et une période (T) de 6 s (N=2000) 284
Figure 307. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino II situés au fond du canal aux stations a) 1 pour une profondeur (d) de 3,5 m, une hauteur de vague (H) de 1,5 m et une période (T) de 6 s (N=2000) 285
Figure 308. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XY) à la station 1 pour une profondeur (d) de 3,5 m, une hauteur de vague (H) de 1,5 m et une période (T) de 6 s (n = 2010 à 2069) 286
Figure 309. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XZ) à la station 1 pour une profondeur (d) de 3,5 m, une hauteur de vague (H) de 1,5 m et une période (T) de 6 s (n = 2010 à 2069) 286
Figure 310. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino II situés a) au fond du canal et b) près du mur coté est de la station 1 pour une profondeur (d) de 2,5 m, une hauteur de vague (H) de 1,5 m et une période (T) de 10 s (N=2000) 287

Figure 311. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino II situés a) au fond du canal et b) près du mur coté est de la station 1 pour une profondeur (d) de 2,5 m, une hauteur de vague (H) de 1,5 m et une période (T) de 6 s (N=2000)..... 287
Figure 312. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino II situés a) au fond du canal et b) près du mur coté est de la station 1 pour une profondeur (d) de 2,5 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 10 s (N=700) 288
Figure 313. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino II situés a) au fond du canal et b) près du mur coté est de la station 1 pour une profondeur (d) de 3 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 12 s (N=1000) 288
Figure 314. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino II situés a) au fond du canal et b) près du mur coté est de la station 1 pour une profondeur (d) de 3 m, une hauteur de vague (H) de 1,5 m et une période (T) de 8 s (N=2800)..... 289
Figure 315. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino II situés a) au fond du canal et b) près du mur coté est de la station 1 pour une profondeur (d) de 3 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 12 s (N=3000) 289
Figure 316. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino II situés a) au fond du canal et b) près du mur coté est de la station 1 pour une profondeur (d) de 3,5 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 12 s (N=2000) 290
Figure 317. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino II situés a) au fond du canal et b) près du mur coté est de la station 1 pour une profondeur (d) de 3,5 m, une hauteur de vague (H) de 1,5 m et une période (T) de 8 s (N=3000)..... 290
Figure 318. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino II situés a) au fond du canal et b) près du mur coté est de la station 1 pour une profondeur (d) de 3,5 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 12 s (N=2000) 291
Figure 319. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino I situés a) près du mur côté est (haut), b) au centre en haut et c) au centre en bas de la station 1 pour une profondeur (d) de 2,5 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 10 s (N=1500) 293
Figure 320. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino I situés a) près du mur côté est (haut), b) au centre en haut et c) au centre en bas de la station 1 pour une profondeur (d) de 2,5 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 10 s (N=1000) 293
Figure 321. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino I situés a) près du mur côté est (haut), b) au centre en haut et c) au centre en bas de la station 1 pour une profondeur (d) de 2,5 m, une hauteur de vague (H) de 1,5 m et une période (T) de 6 s (N=2000) 294
Figure 322. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino I situés a) près du mur côté est (haut), b) au centre en haut et c) au centre en bas de la station 1 pour une profondeur (d) de 3 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 12 s (N=2000) 294
Figure 323. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino I situés a) près du mur côté est (haut), b) au centre en haut et c) au centre en bas de la station 1 pour une profondeur (d) de 3 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 12 s (N=2500) 295
Figure 324. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino I situés a) près du mur côté est (haut), b) au centre en haut et c) au centre en bas de la station 1 pour une profondeur (d) de 3 m, une hauteur de vague (H) de 1,5 m et une période (T) de 8 s (N=2000) 295
Figure 325. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino I situés a) près du mur côté est (haut), b) au centre en haut et c) au centre en bas de la station 1 pour une profondeur (d) de 3,5 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 12 s (N=2500) 296

Figure 326. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino I situés a) près du mur côté est (haut), b) au centre en haut et c) au centre en bas de la station 1 pour une profondeur (d) de 3,5 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 12 s (N=3000) 296
Figure 327. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino I situés a) près du mur côté est (haut), b) au centre en haut et c) au centre en bas de la station 1 pour une profondeur (d) de 3,5 m, une hauteur de vague (H) de 1,5 m et une période (T) de 8 s (N=3000) 297
Figure 328. Niveau d'eau et composantes fréquentielles (FFT) pour une profondeur (d) de 2,5 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 10 s..... 298
Figure 329. Niveau d'eau et composantes fréquentielles (FFT) pour une profondeur (d) de 2,5 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 10 s..... 298
Figure 330. Niveau d'eau et composantes fréquentielles (FFT) pour une profondeur (d) de 3 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 12 s..... 299
Figure 331. Niveau d'eau et composantes fréquentielles (FFT) pour une profondeur (d) de 3 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 12 s..... 299
Figure 332. Niveau d'eau et composantes fréquentielles (FFT) pour une profondeur (d) de 3,5 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 12 s..... 300
Figure 333. Niveau d'eau et composantes fréquentielles (FFT) pour une profondeur (d) de 3,5 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 12 s..... 300
Figure 334. Étendue des vagues réalisables en hauteur et en période selon le fabriquant MTS (d = 1.5 mètre)..... 304
Figure 335. Étendue des vagues réalisables en hauteur et en période selon le fabriquant MTS (d = 2 mètres)..... 304
Figure 336. Étendue des vagues réalisables en hauteur et en période selon le fabriquant MTS (d = 3 mètres)..... 305
Figure 337. Étendue des vagues réalisables en hauteur et en période selon le fabriquant MTS (d = 3.9 mètres)..... 305

Liste des tableaux

Tableau 1. Classification des vagues en fonction de la profondeur relative..... 32
Tableau 2. Comparaison de différentes relations de dispersion..... 33
Tableau 3. Compilation des paramètres caractéristiques des vagues..... 36
Tableau 4. Valeur de ΔH (Miche & Michel) égal à 1 dans le cas où $H/L < (H/L)_{max}$ indiquant que la vague n'est pas sujette au changement de forme où $(H/L)_{max}$ est déterminé par Équation 8, comparaison des différents critères des théories de Stokes (section 2.2.1 Théorie de Stokes) et cnoidale (section 2.3.3 Théorie cnoïdale) avec ceux de Fenton & McKee (1990), 0 indiquant que la théorie s'applique pas et 1 qu'elle s'applique, les facteurs d/gT^2 et H/gT^2 servent également à déterminer les limites de validité de chaque (Le Méhauté, 1976) (Figure 5). En rouge, on observe des problèmes de déferlement dans le canal..... 42
Tableau 5. Symboles et abréviations..... 45
Tableau 6. Test de qualité des appareils Vectrino II - profondeur d'eau de 2,5 mètres..... 57
Tableau 7. Test de qualité des appareils Vectrino II - profondeur d'eau de 3 mètres..... 58
Tableau 8. Test de qualité des appareils Vectrino II - profondeur d'eau de 3,5 mètres..... 59

Tableau 9. Test de qualité des appareils Vectrino II - sans vague avec le maximum de courant généré par l'installation 60
Tableau 10. Test de qualité des appareils Vectrino I - profondeur d'eau de 2,5 mètres 61
Tableau 11. Test de qualité des appareils Vectrino I - profondeur d'eau de 3 mètres 64
Tableau 12. Test de qualité des appareils Vectrino I - profondeur d'eau de 3,5 mètres 67
Tableau 13. Test de qualité des appareils Vectrino I - profondeur d'eau de 3,5 mètres 70
Tableau 14. Expérience 2 : Temps que mettent les vagues à parcourir la distance (10 mètres) entre la station 1 et 3 (t1), la station 3 et 5 (t2) et la station 5 et 7 (t3), calcul le la vitesse de groupe moyenne ($C_{g\ moy}$) et comparaison avec les vitesses théoriques de phase (C) de Fenton & McKee (1990)et la vitesse de groupe (C_g) (Équation 5). 72
Tableau 15. Expérience 3 : Temps que mettent les vagues à parcourir la distance (10 mètres) entre la station 1 et 3 (t1), la station 3 et 5 (t2) et la station 5 et 7 (t3), calcul le la vitesse de groupe moyenne ($C_{g\ moy}$) et comparaison avec les vitesses théoriques de phase (C) de Fenton & McKee (1990)et la vitesse de groupe (C_g) (Équation 5). 73
Tableau 16. Test de qualité des appareils Vectrino I : V moy est la vitesse moyenne, V SD est la déviation standard des vitesses mesurées, SNR est l'expression du signal-to-noise ratio (Équation 11), S/N est le ratio du signal et du bruit et ce, dans la direction de x, y et z en fonction de la période (T). 292

Liste des équations

Équation 1. Relation de dispersion - théorie linéaire (Coastal Engineering Manual- chapter 1, Part II (EM 1110-2-1100), 2002) 32
Équation 2. Expression de la longueur d'onde (10 % d'erreur) en fonction de la profondeur et la période (Eckart, 1952) 33
Équation 3. Vitesses horizontales (a) et verticales (b) locales au passage d'une vague dans la colonne d'eau.. 34
Équation 4. Déplacement des particules sous forme d'ellipse et d'orbite fermée 34
Équation 5. Vitesse de groupe d'une vague composée d'un paquet d'onde. 35
Équation 6. Énergie totale d'une vague pour une longueur d'onde et une hauteur données 35
Équation 7. Vitesse du transport de masse (m/s) selon la solution au deuxième ordre de la théorie de Stokes. 38
Équation 8. Limite de la cambrure de la vague pour $d < L_0/2$ avant qu'elle ne se déforme 39
Équation 9. Relation de dispersion pour les vagues de longueur relativement grande où la théorie de Stokes est invalide 40
Équation 10. La définition de Fenton & McKee (1990) de la validité des théories de Stokes et cnoïdale. 41
Équation 11. Signal-to-noise ratio (SNR); proportionnelle au ratio de l'amplitude du signal et du bruit 47

1. Introduction - Canal hydraulique

Les régions côtières, là où la partie terrestre influence l'environnement marin et vice et versa, sont en constante évolution. Comprendre les processus côtiers est rarement une chose simple compte tenu qu'il s'agit d'une zone de mélange souvent caractérisée par une transition marquée de l'environnement. L'érosion côtière est en partie au cœur de cette transformation. Causée par les vagues, les courants, le vent, le gel-dégel et la gravité (ravinement, glissement de terrain, etc.), l'érosion des berges pourrait s'accentuer avec les changements climatiques si, par exemple, les précipitations, les tempêtes et le niveau d'eau augmentaient et le couvert de glace diminuait.

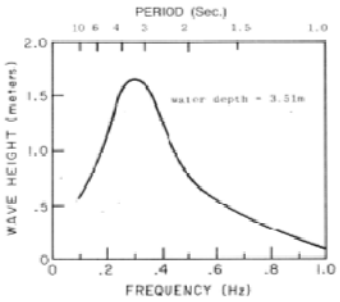
La présente étude se concentre sur la caractérisation du régime de vagues océaniques et fluviales réalisable dans le canal. L'interaction air-eau, par le transfert d'énergie de la masse d'air à celle de l'eau, est à l'origine de la formation des vagues dont l'énergie se dissipe principalement à l'approche de la côte. Ainsi, il est important de bien connaître l'hydrodynamisme des vagues pour mieux comprendre les phénomènes côtiers (i.e. transport de sédiment, adaptation des espèces, etc.) et réaliser des projets d'ingénierie maritime (Carter, 1988). Les expériences faites à l'aide de modèles hydrauliques sont fréquemment utilisées pour élucider les phénomènes liés à la conception d'infrastructure maritimes et/ou à l'étude des principes hydrodynamiques en région côtière. Dans le cadre de telles expériences, les effets d'échelle doivent cependant être pris en compte. Notamment, l'étude du transport des sédiments est difficile à réaliser à petite échelle en raison du problème de la taille des grains. La solution la plus efficace consiste à effectuer des expériences avec une échelle suffisamment grande pour négliger cet aspect. Ainsi, plusieurs réseaux de recherche dans le monde étudient la propagation des vagues à l'aide de canaux hydrauliques.

C'est ainsi que l'Institut national de recherche scientifique s'est dotée d'un canal hydraulique au centre Eau Terre Environnement dans le but de développer, entre autres, des approches durables de gestion du littoral pour contrer l'érosion engendrée par les changements climatiques. Quatrième plus grande infrastructure du genre au monde, ce laboratoire permet de simuler les houles, la marée et les courants de grand débit affectant la majorité des cours d'eau à lit grossier, tels les rivières et le fleuve St-Laurent. Il offre un riche potentiel de modélisation tel que le profil d'équilibre des plages pour la stabilisation des littoraux et la sédimentation dans les ports et les marinas pour planifier le dragage ou contrôler la dérive sédimentaire. Le canal permet également de modéliser les phénomènes de dépassement et de débordement dus à la hausse du niveau marin sur les littoraux canadiens et la diffusion des polluants dans des systèmes hydrauliques complexes.

Le canal hydraulique de l'INRS permet également d'étudier l'interaction des courants et des vagues sur les structures côtières et en mer, simuler l'effet des marées sur les aménagements portuaires et l'effet des glaces sur des rives en présence de houle et de courants. Il permet ainsi de concevoir des aménagements ou solutions douces de protection des côtes. Mesurant 120 m de long, 5 m de large et 5 m de haut, le canal est semi-enterré de 4 m avec 1 m au-dessus du sol. En plus d'une passerelle mobile, d'un portique de levage de 10 tonnes et d'une série de porte-équipements, le canal est muni d'un batteur à houle, d'un amortisseur de houle (enrochement), d'un système de vidange et de remplissage connecté à un réservoir de 3500 m^3, d'un système

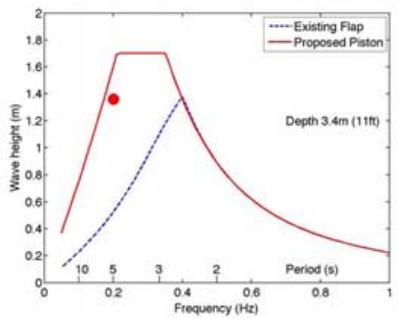
bidirectionnel de circulation d'eau pouvant atteindre 1 m/s pour une hauteur d'eau de 1 m, soit un débit théorique de 5 m^3/s généré par un propulseur et d'équipements de mesure (courant, turbidité, niveau d'eau, topographie, etc.). Cette infrastructure de 13,5 M$ a été financée par Industrie Canada et le ministère des Finances et de l'Économie (MFEQ), dans le cadre du Programme d'infrastructure du savoir. Voici quelques exemples ayant inspirés la conception du canal de l'INRS-ETE.

1.1 O.H. Hinsdale Wave Research Laboratory (WRL)



En collaboration avec l'Université de l'Oregon, ce laboratoire est un leader en recherche dans le domaine de l'ingénierie côtière et de l'étude du littoral. Leur spécialité en modélisation physique et numérique en fait l'un des plus grands laboratoires de recherche. Leurs projets étudient notamment les tsunamis, les interactions entre les vagues et les structures, l'hydrodynamique côtière (transformation des vagues, zone de surf, déferlement, etc.), sédiments en suspension, transport de sédiments et mécanique des fluides environnementale.

Figure 1. Courbe de performance pour la génération de vagues dans le canal - WRL



L'installation d'un nouveau batteur à piston à également permis d'augmenter la hauteur maximale des vagues de basses fréquences et la possibilité de simuler des conditions de vague telles que générées par les tsunamis et les ouragans (point rouge, **Figure 2**). Le canal a une longueur de 104 mètres, une largeur de 3.7 mètres et une profondeur de 4.6 mètres. On peut y produire des vagues régulières et irrégulières d'une période variant entre 0.5 et 10 secondes. La hauteur de vague maximale réalisable se situe aux environ de 1.6 mètres et ce, pour une période de 3.5 secondes (**Figure 1**) dans une colonne d'eau de 3.5 mètres.

Figure 2. Courbes de performances théoriques de batteurs. La courbe en rouge permet la création de vagues telles que générées par les tsunamis et les ouragans (point rouge)

1.2 L'Institut néerlandais - Data Technology (Deltares)

Ce canal est le plus grand d'Europe et permet de créer des vagues d'une hauteur de 2.5 mètres. Sa longueur est de 240 mètres, sa largeur de 5 mètres, sa profondeur de 1 à 5.5 mètres dans la partie peu profonde, et de 9.5 mètres dans la partie plus profonde. On peut y produire des vagues régulières (2.5 mètres) et irrégulières (1.8 mètres) d'une période variant entre 1 et 12 secondes. Sa grande taille permet d'effectuer des expériences plus réalistes et d'utiliser des substrats naturels. Ce canal est également équipé d'un dispositif anti-réflexion des vagues. Il possède de plus une centaine de stations d'acquisition positionnées tout au long du canal.

1.3 Port and Airport Research Institute (PARI), Japon

Le canal, nommé Large Hydro-Geo Flume (LHGF), est l'une des nombreuses installations en bassin du l'Institut de recherche sur les ports et les aéroports du Japon. On peut y créer des vagues régulières et irrégulières d'une hauteur de 3.5 mètres. Sa longueur est de 184 mètres, sa largeur de 3.5 mètres, sa profondeur de 12 mètres. Les effets d'échelle sont à considérer pour les études d'érosion en particulier. Il est équipé d'un générateur de courant pouvant aller jusqu'à 2 m/s et d'un fond sableux de 67 mètres de long par 4 mètres de profondeur.

1.4 GWK Large Wave Flume, Allemagne

Le plus grand canal construit à ce jour ce situe à Hanover en Allemagne au Centre de recherche côtière. Il mesure près de 310 mètres de long, 7 mètres de profondeur et 5 mètres de largeur. Les vagues crées peuvent être régulières ou irrégulières. L'installation comprend un système anti-réflexion des vagues et peut également faire déferler celles-ci à un endroit précis du canal. Leur partenariat avec d'autres instituts de recherche leur permet d'expérimenter également leurs études dans des bassins de plus petites échelles.

1.5 Maritime Engineering Laboratory (LIM) – Catalonia University of Technology, Espagne

Dans ce canal, on y étudie également la dynamique estuarienne et côtière, l'océanographie physique et l'hydraulique maritime. Dans les mêmes proportions que le canal de l'INRS-ETE, sa longueur est de 100 mètres, 7 mètres de profond et 3 mètres de large. On peut y produire des vagues de 1.6 mètres de haut d'une période variant entre 1 et 8 secondes. L'installation est même dotée d'une fenêtre d'observation le long du canal.



Figure 3. Canal de l'INRS-ETE (Québec, Canada)

Dans un premier temps, la caractérisation du canal de l'INRS-ETE s'est faite à l'aide de vagues régulières de plusieurs hauteurs et différentes fréquences. Ainsi, la prochaine section caractérise le régime de vague selon la théorie sur les vagues régulières. Bien que la théorie permette d'extraire un certain nombre de paramètres pertinents à l'étude des vagues, elle ne permet pas de représenter adéquatement la réalité mettant ainsi en évidence l'utilité du canal. La modélisation de la dynamique des fluides en région côtière se voit d'être calibrée à l'aide de mesures recueillies expérimentalement. C'est pourquoi la caractérisation du canal permettra de1) connaître les spécificités de l'installation et de 2) valider les modèles théoriques.

2. Théorie sur les vagues régulières [1]

Le vent, à l'interface air-eau, est la principale force qui génère les vagues en mer. Leur énergie se dissipe ensuite près des côtes et sur les plages par déferlement. Les vagues typiques à la surface des océans ont des périodes de 3 à 25 secondes. Elles répartissent et transportent les sédiments le long du littoral. Il existe d'autres formes d'onde autre que les vagues de gravité en surface qui ne feront pas partie de la présente étude (onde interne, marée, etc.). Dans cette section sur les vagues régulières, la mécanique des vagues de période (T) et de hauteur (H) constantes y est décrite. Cette représentation mathématique simple considère que les vagues sont des ondes de deux dimensions (2D), de faibles amplitudes, de formes sinusoïdales, progressives et se définissant par leur hauteur et leur période dans une profondeur d'eau donnée (d). La cinématique (vitesse et accélération) et la dynamique (force, pression et moment) peuvent alors en être déduites par la théorie linéaire des vagues.

Une description adéquate des vagues comprend sa forme en surface et les mouvements induits dans la colonne d'eau. D'après la théorie linéaire, les vagues sont considérées comme des systèmes oscillatoires si les trajectoires des particules dans la colonne d'eau sont des orbitales circulaires. Les trajectoires sont constantes; il n'y pas de déformation de celles-ci lors du passage des vagues. La houle, générée par les tempêtes au large (i.e. variation de la pression atmosphérique), est composée généralement de vagues régulières, de longues crêtes et de périodes de plus de 10 secondes. Ces basses fréquences voyagent plus vite que les ondes de courtes périodes. Les autres vagues créées par le vent, elles, peuvent être de plus hautes fréquences, donc plus courtes, et de formes irrégulières dont l'énergie se dissipe plus rapidement. Les basses fréquences d'une vague se sépareront des plus hautes fréquences qui voyagent moins rapidement.

Une autre approche pour l'étude des vagues régulières traite de vagues 2D différant d'une sinusoïdale parfaite utilisant les théories non linéaires (creux plats, crêtes pyramidales, etc.). Ces vagues sont souvent observées en eau peu profonde quand la hauteur des vagues est relativement grande. La théorie des vagues la plus simple est celle de Airy dite la théorie linéaire de premier ordre (i.e. vagues simples) telles les vagues sinusoïdales et monochromatiques. Plusieurs problèmes d'ingénierie peuvent être résous à partir de cette modélisation. Cependant, lorsque les vagues de plus grandes amplitudes se propagent dans des eaux peu profondes, les théories non linéaires d'ordre supérieur sont nécessaires (i.e. trains d'onde ou vagues complexes). La théorie linéaire ne peut caractériser certaines vagues dont les crêtes sont plus élevées par rapport au niveau d'eau que les creux.

La surface de la mer est par contre irrégulière, aléatoire et comprend plusieurs fréquences en trois dimensions (3D). Une approche statistique et probabiliste est donc généralement nécessaire pour l'étude des niveaux d'eau. L'analyse spectrale est alors plus appropriée pour décrire les différentes amplitudes et directions des différentes fréquences des vagues; méthode brièvement approchées dans notre étude.

[1] Texte traduit et résumé des manuels d'ingénierie côtière de l'Armée américaine (Coastal Engineering Manual- chapter 1, Part II (EM 1110-2-1100), 2002)

La surface de la mer étant majoritairement irrégulière, voire chaotique, en fonction du temps, elle ne peut être décrite adéquatement dans toute sa complexité. Il importe donc de se donner des modèles simplifiés raisonnables qui permettent l'étude des vagues avec une justesse satisfaisante. Ainsi, une vague progressive peut être représentée par les variables spatiales et temporelles (x, t) ou par la phase ($\theta = kx - \omega t$), k étant le nombre d'onde ($2\pi/L$) et ω la fréquence angulaire ($2\pi/T$). La période (T) est l'intervalle de temps entre le passage de deux crêtes successives. De plus, une vague progressive périodique et constante peut être complètement caractérisée à l'aide de sa hauteur (H), de sa longueur d'onde (L) et de la profondeur de l'eau (d) dans laquelle elle voyage. La hauteur de la vague, de crête-à-crête, est égale à deux fois l'amplitude (a) autour du niveau d'eau moyen. La vitesse de phase est donnée par $C = L/T = \omega/k$. La cambrure de la vague peut par ailleurs être définie par H/L, la profondeur relative par d/L et la hauteur de vague relative par H/d (Figure 4).

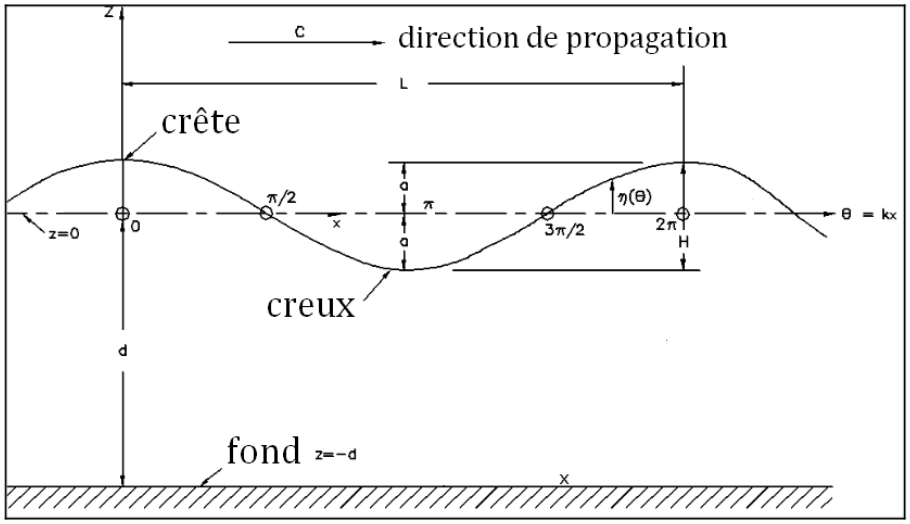


Figure 4. Définition des paramètres nécessaire à la caractérisation de vagues élémentaires, sinusoïdales et progressives (Coastal Engineering Manual- chapter 1, Part II (EM 1110-2-1100), 2002)

2.1. Théorie linéaire

Cette section débute avec la représentation sinusoïdale, la théorie la plus simple dite théorie linéaire (Airy, 1845). Elle se révèle utile dans les limites des hypothèses posées : fluide incompressible et homogène de densité constante; tension de surface négligeable, effet de Coriolis négligeable, pression constante et uniforme à la surface, fluide non visqueux, pas d'interactions avec d'autres mouvements d'eau, écoulement irrotationnel, le fond est une limite horizontale fixe imperméable, donc la vitesse verticale au fond est nulle, l'amplitude de la vague est petite et sa forme temporelle et spatiale est constante et les vagues sont planes (2D).

2.1.1. Vitesse, longueur d'onde et période

La vitesse de phase est la vitesse à laquelle une vague se propage. Cette vitesse C est directement proportionnel à L/T; la vague se déplaçant d'une longueur d'onde durant une période. La vitesse de phase peut être calculée par la relation de dispersion en fonction de la longueur d'onde et de la profondeur d'eau (Équation 1). Ainsi, le rapport $2\pi d/L$, ou encore kd, peut être utilisé pour classifier les vagues (Tableau 1). En eau profonde, le terme tanh(kd) tend vers 1 et l'Équation 1 se réduit à $gT/2\pi$ (T 1.56 m s^{-2}). Dans ce cas, la vitesse de la vague ne dépend théoriquement pas de la profondeur d'eau. On peut alors définir la vitesse de phase en eau profonde (C_0) en fonction de la longueur d'onde en eau profonde (L_0) par $C_0 = \sqrt{gL_0/2\pi}$. Ainsi, L_0 peut être définit par $L_0 = gT^2/2\pi$ (T^2 1.56 m s^{-2}), demeurant indépendante de la profondeur d'eau (d). Lorsque les valeurs de d/L sont comprises entre 0.5 et 0.05, dans la zone de transition, il vaut mieux utiliser l'Équation 1 telle quelle. Pour de plus petites valeurs de kd, en eau peu profonde, $\tanh(kd) \simeq kd$. Ainsi, d'après Équation 1et la Tableau 1, la vitesse de phase se réduit à $\sqrt{gd}$. Dans ce cas, la vitesse dépend uniquement de la profondeur. Ces critères permettent de simplifier l'Équation 1 sans grande erreur.

$$C = \frac{gT}{2\pi}\tanh\left(\frac{2\pi d}{L}\right)$$

Équation 1. Relation de dispersion - théorie linéaire (Coastal Engineering Manual- chapter 1, Part II (EM 1110-2-1100), 2002) où g est la constante de gravité (9,81 m s^{-2}), T la période, d la profondeur d'eau, L la longueur d'onde.

Tableau 1. Classification des vagues en fonction de la profondeur relative

	d/L	kd	tanh(kd)
1) Eau profonde	1/2 à inf	π à inf	≃ 1
2) Zone de transition	1/20 à 1/2	π/10 à π	tanh (kd)
3) Eau peu profonde	0 à 1/20	0 à π/10	≃kd

Donc, lorsqu'une vague passe de la zone profonde à la zone peu profonde sa vitesse et sa longueur dépendent, au départ, seulement de sa période. Les ondes de périodes différentes ne se propagent pas toutes à la même vitesse; les périodes plus longues voyageant plus vite. Au fur et à mesure que la vague entre en zone peu profonde, relativement à sa longueur, sa vitesse et sa longueur dépendront de la période ainsi que de la profondeur d'eau alors qu'en eau peu profonde, ces paramètres seront seulement dépendants de la profondeur.

D'après l'Équation 1, on peut obtenir l'expression de la longueur d'onde en fonction de la profondeur d'eau et la période par $L = gT\omega^{-1}\tanh(kd)$. La solution de cette équation peut se simplifier à l'équation 2. D'autres relations de dispersion ont également été proposées (Fenton J. D., 1990) (Guo, 2002) afin de diminuer l'erreur et augmenter la précision des modélisations (Tableau 2) (voir les formules en Annexe A). En divisant l'Équation 1 par l'expression de C_0 et multipliant par le rapport d/L on obtient $d/L_0 = d\tanh(kd)/L$. Cette équation peut trouver des solutions empiriques,

prenant d/L en fonction de d/L_0, par des tables aux valeurs compilées (Shore Protection Manual (4 ème édition), 1984). Il ne faut pas oublier que pour utiliser la théorie linéaire, l'amplitude des vagues doit être relativement petite par rapport à la profondeur d'eau. La hauteur de vague relative (H/d) doit donc être petite.

$$L \approx \frac{gT^2}{2\pi}\sqrt{\tanh\left(\frac{4\pi^2 d}{T^2 g}\right)}$$

Équation 2. Expression de la longueur d'onde (10 % d'erreur) en fonction de la profondeur et la période (Eckart, 1952)

Tableau 2. Comparaison de différentes relations de dispersion; Shore Protection Manual (SPM) et Équation 1 (Eckart, 1952). Autres formules (Fenton J. D., 1990) (Guo, 2002) en Annexe A.

				SPM (1984)	SPM (1984)	Eckart (1952)	Fenton & McKee (1990)	Guo (2002)
T (sec.)	d (m)	L_0 (m)	d/L_0	d/L	L (m)	L (m)	L (m)	L (m)
				±5%	±5%	±10%	±1,5%	±0,7%
1,50	2,50	3,51	0,71	0,71	3,50	3,51	3,50	3,51
1,50	3,00	3,51	0,85	0,86	3,51	3,51	3,51	3,51
1,50	3,50	3,51	1,00	1,00	3,51	3,51	3,51	3,51
2,00	2,50	6,24	0,40	0,41	6,17	6,20	6,09	6,14
2,00	3,00	6,24	0,48	0,48	6,22	6,23	6,16	6,20
2,00	3,50	6,24	0,56	0,56	6,23	6,23	6,20	6,23
4,00	2,50	24,96	0,10	0,14	17,73	18,64	17,93	17,80
4,00	3,00	24,96	0,12	0,16	18,99	19,94	19,12	19,01
4,00	3,50	24,96	0,14	0,18	20,00	20,99	20,08	20,00
6,00	2,50	56,16	0,04	0,09	28,09	29,32	28,79	28,55
6,00	3,00	56,16	0,05	0,10	30,83	31,95	31,23	30,96
6,00	3,50	56,16	0,06	0,11	32,93	34,29	33,39	33,10
8,00	2,50	99,84	0,03	0,06	39,43	39,44	39,08	38,85
8,00	3,00	99,84	0,03	0,07	42,02	43,13	42,63	42,34
8,00	3,50	99,84	0,04	0,08	45,16	46,48	45,84	45,50
10,00	2,50	156,00	0,02	0,05	48,73	49,42	49,18	48,97
10,00	3,00	156,00	0,02	0,06	53,48	54,10	53,75	53,49
10,00	3,50	156,00	0,02	0,06	57,76	58,38	57,92	57,60
12,00	2,50	224,64	0,01	0,04	59,10	59,35	59,18	59,00
12,00	3,00	224,64	0,01	0,05	65,08	65,00	64,75	64,52
12,00	3,50	224,64	0,02	0,05	68,23	70,17	69,84	69,55

1) Eau profonde
2) Zone de transition
3) Eau peu profonde

2.1.2 Vitesses et accélérations locales

Si l'onde est définie comme un cosinus, la vitesse horizontale positive maximum survient lorsque $\theta = 0 \pm 2\pi n$ (crêtes). La vitesse horizontale négative maximum, lorsque $\theta = \pi \pm 2\pi n$ (creux). La vitesse verticale positive maximale survient lorsque $\theta = \pi/2 \pm 2\pi n$, et la négative, quand $\theta = 3\pi/2 \pm 2\pi n$. L'accélération est déphasée de $\pi/2$ par rapport aux valeurs de la vitesse. Les particules se trouvent à suivre une orbite circulaire sans déplacement net à mesure que la vague passe (Tableau 3). Les vitesses verticales (V_z) et horizontales (V_x) sont obtenues par l'Équation 3.

$$a)\ V_x = \frac{H}{2}\frac{gT}{L}\left(\frac{\cosh\left(2\pi(z+d)/L\right)}{\cosh\left(2\pi d/L\right)}\right)\cos\left(\theta\right)$$

$$b)\ V_z = \frac{H}{2}\frac{gT}{L}\left(\frac{\sinh\left(2\pi(z+d)/L\right)}{\cosh\left(2\pi d/L\right)}\right)\sin\left(\theta\right)$$

Équation 3. Vitesses horizontales (a) et verticales (b) locales au passage d'une vague dans la colonne d'eau. Le fond étant z=-d et l'origine au niveau d'eau moyen (Figure 4).

2.1.3 Déplacement des particules

En eau profonde, l'orbite des particules est circulaire. En eau peu profonde ou transitionnelle, l'orbite devient elliptique. C'est-à-dire que le déplacement horizontal (A) est plus grand que le déplacement vertical (B) (Tableau 3). Moins la profondeur d'eau est grande, plus l'ellipse est aplatie. L'amplitude verticale du mouvement s'amoindrit en fonction de la profondeur pour être nulle au fond; $\sinh(0) = 0$ (Équation 4). En eau profonde, le déplacement devient négligeable à la moitié de la profondeur. La théorie linéaire prévoit des orbites fermées, ce qui ne concorde pas avec l'expérience. Ceci est expliqué par le transport de masse qui n'est pas pris en compte dans la théorie linéaire. Cette théorie ne décrit donc pas convenablement le déplacement des particules.

$$a)\ A = \frac{H}{2}\frac{\cosh\left(2\pi(z+d)/L\right)}{\sinh\left(2\pi d/L\right)}$$

$$b)\ B = \frac{H}{2}\frac{\sinh\left(2\pi(z+d)/L\right)}{\sinh\left(2\pi d/L\right)}$$

Équation 4. Déplacement des particules sous forme d'ellipse et d'orbite fermée; A étant le déplacement horizontal et B le déplacement vertical, soit respectivement l'axe majeur et mineur de l'ellipse.

2.1.4 Vitesse de groupe

La vitesse de groupe (C_g) représente la vitesse d'un groupe d'onde (Équation 5). Elle diffère de la vitesse de phase qui est la vitesse individuelle de chaque onde (i.e. vague). En eau profonde, le terme $(4\pi d/L)/\sinh(4\pi d/L)$ est environ égal à 0 et la vitesse de groupe est alors égale à la moitié de la vitesse de phase ($C_{g0} = C_0/2$). En eau peu profonde, le terme $\sinh(4\pi d/L)$ est environ égal à $4\pi d/L$ de sorte que la vitesse de phase et de groupe soient égales ($C_g = C$). Ceci implique que les vagues en milieu peu profond n'interfèrent pas. En milieu profond, elles sont dispersives (voir C et C_g, Tableau 3).

$$C_g = \frac{1}{2}\frac{L}{T}\left[1 + \frac{4\pi d/L}{\sinh\,(4\pi d/L)}\right]$$

Équation 5. Vitesse de groupe d'une vague composée d'un paquet d'onde.

2.1.5 Énergie et puissance des vagues

L'énergie totale d'un système de vague provient de la somme de l'énergie cinétique, due au mouvement des particules d'eau, et de l'énergie potentielle, due à l'élévation de la masse par rapport au niveau d'eau moyen. Conformément à la théorie linéaire, si les vagues se propagent toutes dans la même direction, l'énergie cinétique et potentielle sont égales (

Équation 6).

$$E = E_k + E_p = \frac{\rho g H^2 \mathrm{L}}{16} + \frac{\rho g H^2 \mathrm{L}}{16} = \frac{\rho g H^2 \mathrm{L}}{8}$$

Équation 6. Énergie totale d'une vague pour une longueur d'onde et une hauteur données; $\bar{E} = E/L$ étant la densité d'énergie. On définit également la puissance par $\bar{E}C_g$ qui est en fait le flux d'énergie dans la colonne d'eau donc le taux d'énergie transmis dans la direction de propagation

Le flux d'énergie est défini comme le taux auquel l'énergie est transmise par la vague à travers un plan vertical perpendiculaire à sa direction de propagation. Il est égal à $\bar{E}C_g$. Cette équation devient $\bar{E}_0C_0/2$ en eau profonde et $\bar{E}C$ en eau peu profonde. Si les vagues suivent les lignes de profondeur, il devrait y avoir conservation de l'énergie. Cependant, si elles ne sont pas parallèles, certaines parties voyageront à différentes vitesses et il y aura réfraction.

2.1.6 Stress radiatif

La théorie linéaire peut raisonnablement approximer le stress radiatif. C'est-à-dire les forces par unité de surface induite par un moment d'inertie excédentaire créé par le passage des vagues. La pression et la vitesse dans la colonne d'eau sous la crête sont supérieures que celles sous les creux de la vague. Ceci mène donc à un flux net dans la direction de propagation de la vague. La théorie linéaire peut donc expliquer entre autres, à partir du calcul du stress radiatif, la formation des courants littoraux.

En conclusion, les vagues décrites par la théorie linéaire et d'amplitude finie peuvent être décrites à l'aide de paramètres sans dimension. La profondeur relative, d/L, détermine si les vagues sont dispersives (i.e. en eau profonde) ou non (i.e. en eau peu profonde), et si les autres paramètres sont influencés par la profondeur. La cambrure de la vague, H/L, détermine si l'hypothèse de la théorie linéaire est valide. La hauteur relative de la vague, H/d, peut aussi être utilisée. Finalement, le nombre de Ursell (L^2H/d^3) permet également de déterminer quelle théorie utiliser (voir section suivante); une grande valeur indiquant qu'une onde se propage en milieu peu profond. Généralement, la théorie linéaire est inadéquate pour décrire les plus grosses vagues, qui sont d'un intérêt particulier puisqu'elles déplacent plus d'énergie et de sédiment.

Tableau 3. Compilation des paramètres caractéristiques des vagues en fonction de la période (T), profondeur d'eau (d), hauteur des vagues (H), longueur d'onde (L ±1,5%) (Fenton & McKee, 1990), longueur d'onde en eau profonde (L_0), le nombre de Ursell ($U_R = L^2H/d^3$), $(kd)^2$, la profondeur de propagation relative đ = d-L_0/2, déplacement horizontal (A) et vertical (B) de la trajectoire ellipsoïdale des particules, vitesses horizontales (Vx) et verticales (Vz) des particules, C_g la vitesse de groupe (Équation 5), la vitesse de phase (C) générale (Fenton & McKee) et pour les eaux relativement peu profondes (Boussinesq) (Équation 9). Le paramètre θ est la phase de la vague, de sorte que Vx_{max} positif se situe à θ=0 et Vz_{max} à θ= π/2 , et z est la profondeur de la particule (l'origine étant au niveau d'eau moyen).

T	d	H	L	L_0	d/L	d/L_0	H/L	H/d	$(kd)^2$	U_R	đ	A	B	A	B	Vx	Vz	Vx	Vz	Cg	C (Fenton & McKee)	C (Boussinesq)
																θ=0	θ=π/2	θ=0	θ=π/2			
												z= -H	z= -H	z= -d	z= -d	z= -H	z= -H	z= -d	z= -d			
s	m	m	m	m	-	-	-	-	-	-	m	m	m	m	m	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s
1,5	2,5	0,5	3,5	3,5	0,7	0,71	0,14	0,2	20,1	0,4	1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,4	0,4	0,0	0,0	1,2	2,3	
1,5	2,5	1,0	3,5	3,5	0,7	0,71	0,29	0,4	20,1	0,8	1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,4	0,3	0,0	0,0	1,2	2,3	
1,5	2,5	1,5	3,5	3,5	0,7	0,71	0,43	0,6	20,1	1,2	1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,2	0,2	0,1	0,0	1,2	2,3	
1,5	3,0	0,5	3,5	3,5	0,9	0,85	0,14	0,2	28,9	0,2	1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,4	0,4	0,0	0,0	1,2	2,3	
1,5	3,0	1,0	3,5	3,5	0,9	0,85	0,28	0,3	28,9	0,5	1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,4	0,3	0,0	0,0	1,2	2,3	
1,5	3,0	1,5	3,5	3,5	0,9	0,85	0,43	0,5	28,9	0,7	1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,2	0,2	0,0	0,0	1,2	2,3	
1,5	3,5	0,5	3,5	3,5	1,0	1,00	0,14	0,1	39,2	0,1	2	0,1	0,1	0,0	0,0	0,4	0,4	0,0	0,0	1,2	2,3	
1,5	3,5	1,0	3,5	3,5	1,0	1,00	0,28	0,3	39,2	0,3	2	0,1	0,1	0,0	0,0	0,4	0,3	0,0	0,0	1,2	2,3	
1,5	3,5	1,5	3,5	3,5	1,0	1,00	0,43	0,4	39,2	0,4	2	0,1	0,1	0,0	0,0	0,2	0,2	0,0	0,0	1,2	2,3	
2	2,5	0,5	6,1	6,2	0,4	0,40	0,08	0,2	6,6	1,2	-1	0,2	0,1	0,0	0,0	0,5	0,5	0,1	0,0	1,6	3,0	
2	2,5	1,0	6,1	6,2	0,4	0,40	0,16	0,4	6,6	2,4	-1	0,2	0,2	0,1	0,0	0,6	0,5	0,2	0,0	1,6	3,0	
2	2,5	1,5	6,1	6,2	0,4	0,40	0,25	0,6	6,6	3,6	-1	0,2	0,1	0,1	0,0	0,6	0,4	0,4	0,0	1,6	3,0	
2	3,0	0,5	6,2	6,2	0,5	0,48	0,08	0,2	9,4	0,7	0	0,2	0,1	0,0	0,0	0,5	0,5	0,1	0,0	1,6	3,1	
2	3,0	1,0	6,2	6,2	0,5	0,48	0,16	0,3	9,4	1,4	0	0,2	0,2	0,0	0,0	0,6	0,6	0,1	0,0	1,6	3,1	
2	3,0	1,5	6,2	6,2	0,5	0,48	0,24	0,5	9,4	2,1	0	0,2	0,2	0,1	0,0	0,5	0,5	0,2	0,0	1,6	3,1	
2	3,5	0,5	6,2	6,2	0,6	0,56	0,08	0,1	12,6	0,4	0	0,2	0,2	0,0	0,0	0,5	0,5	0,0	0,0	1,6	3,1	
2	3,5	1,0	6,2	6,2	0,6	0,56	0,16	0,3	12,6	0,9	0	0,2	0,2	0,0	0,0	0,6	0,6	0,1	0,0	1,6	3,1	
2	3,5	1,5	6,2	6,2	0,6	0,56	0,24	0,4	12,6	1,3	0	0,2	0,2	0,0	0,0	0,5	0,5	0,1	0,0	1,6	3,1	
4	2,5	0,5	17,9	25,0	0,1	0,10	0,03	0,2	0,8	10	-10	0,3	0,2	0,3	0,0	0,5	0,3	0,4	0,0	3,6	4,5	
4	2,5	1,0	17,9	25,0	0,1	0,10	0,06	0,4	0,8	21	-10	0,6	0,3	0,5	0,0	0,9	0,4	0,8	0,0	3,6	4,5	

4	2,5	1,5	17,9	25,0	0,1	0,10	0,08	0,6	0,8	31	-10	0,8	0,3	0,8	0,0	1,2	0,4	1,2	0,0	3,6	4,5	
4	3,0	0,5	19,1	25,0	0,2	0,12	0,03	0,2	1,0	7	-9	0,3	0,2	0,2	0,0	0,5	0,3	0,3	0,0	3,7	4,8	
4	3,0	1,0	19,1	25,0	0,2	0,12	0,05	0,3	1,0	14	-9	0,5	0,3	0,4	0,0	0,8	0,5	0,7	0,0	3,7	4,8	
4	3,0	1,5	19,1	25,0	0,2	0,12	0,08	0,5	1,0	20	-9	0,7	0,3	0,6	0,0	1,1	0,5	1,0	0,0	3,7	4,8	
4	3,5	0,5	20,1	25,0	0,2	0,14	0,02	0,1	1,2	5	-9	0,3	0,2	0,2	0,0	0,4	0,3	0,3	0,0	3,8	5,0	
4	3,5	1,0	20,1	25,0	0,2	0,14	0,05	0,3	1,2	9	-9	0,5	0,3	0,4	0,0	0,8	0,5	0,6	0,0	3,8	5,0	
4	3,5	1,5	20,1	25,0	0,2	0,14	0,07	0,4	1,2	14	-9	0,7	0,4	0,6	0,0	1,1	0,6	0,9	0,0	3,8	5,0	
6	2,5	0,5	28,8	56,2	0,1	0,04	0,02	0,2	0,3	27	-26	0,5	0,2	0,4	0,0	0,5	0,2	0,4	0,0	4,4	4,8	4,7
6	2,5	1,0	28,8	56,2	0,1	0,04	0,03	0,4	0,3	53	-26	0,9	0,3	0,9	0,0	0,9	0,3	0,9	0,0	4,4	4,8	4,7
6	2,5	1,5	28,8	56,2	0,1	0,04	0,05	0,6	0,3	80	-26	1,3	0,3	1,3	0,0	1,4	0,3	1,3	0,0	4,4	4,8	4,7
6	3,0	0,5	31,2	56,2	0,1	0,05	0,02	0,2	0,4	18	-25	0,4	0,2	0,4	0,0	0,4	0,2	0,4	0,0	4,7	5,2	
6	3,0	1,0	31,2	56,2	0,1	0,05	0,03	0,3	0,4	36	-25	0,8	0,3	0,8	0,0	0,9	0,3	0,8	0,0	4,7	5,2	
6	3,0	1,5	31,2	56,2	0,1	0,05	0,05	0,5	0,4	54	-25	1,2	0,4	1,2	0,0	1,2	0,4	1,2	0,0	4,7	5,2	
6	3,5	0,5	33,4	56,2	0,1	0,06	0,01	0,1	0,4	13	-25	0,4	0,2	0,4	0,0	0,4	0,2	0,4	0,0	4,9	5,6	
6	3,5	1,0	33,4	56,2	0,1	0,06	0,03	0,3	0,4	26	-25	0,8	0,3	0,7	0,0	0,8	0,4	0,7	0,0	4,9	5,6	
6	3,5	1,5	33,4	56,2	0,1	0,06	0,04	0,4	0,4	39	-25	1,1	0,4	1,1	0,0	1,2	0,4	1,1	0,0	4,9	5,6	
8	2,5	0,5	39,1	99,8	0,1	0,03	0,01	0,2	0,2	49	-47	0,6	0,2	0,6	0,0	0,5	0,2	0,5	0,0	4,6	4,9	4,8
8	2,5	1,0	39,1	99,8	0,1	0,03	0,03	0,4	0,2	98	-47	1,2	0,3	1,2	0,0	1,0	0,2	0,9	0,0	4,6	4,9	4,8
8	2,5	1,5	39,1	99,8	0,1	0,03	0,04	0,6	0,2	147	-47	1,8	0,3	1,8	0,0	1,4	0,2	1,4	0,0	4,6	4,9	4,8
8	3,0	0,5	42,6	99,8	0,1	0,03	0,01	0,2	0,2	34	-47	0,6	0,2	0,5	0,0	0,4	0,2	0,4	0,0	5,0	5,3	5,3
8	3,0	1,0	42,6	99,8	0,1	0,03	0,02	0,3	0,2	67	-47	1,1	0,3	1,1	0,0	0,9	0,3	0,8	0,0	5,0	5,3	5,3
8	3,0	1,5	42,6	99,8	0,1	0,03	0,04	0,5	0,2	101	-47	1,7	0,4	1,6	0,0	1,3	0,3	1,3	0,0	5,0	5,3	5,3
8	3,5	0,5	45,8	99,8	0,1	0,04	0,01	0,1	0,2	25	-46	0,5	0,2	0,5	0,0	0,4	0,2	0,4	0,0	5,3	5,7	5,6
8	3,5	1,0	45,8	99,8	0,1	0,04	0,02	0,3	0,2	49	-46	1,1	0,4	1,0	0,0	0,8	0,3	0,8	0,0	5,3	5,7	5,6
8	3,5	1,5	45,8	99,8	0,1	0,04	0,03	0,4	0,2	74	-46	1,6	0,4	1,5	0,0	1,2	0,3	1,1	0,0	5,3	5,7	5,6
10	2,5	0,5	49,2	156,0	0,1	0,02	0,01	0,2	0,1	77	-76	0,8	0,2	0,8	0,0	0,5	0,1	0,5	0,0	4,8	4,9	4,9
10	2,5	1,0	49,2	156,0	0,1	0,02	0,02	0,4	0,1	155	-76	1,6	0,3	1,5	0,0	1,0	0,2	0,9	0,0	4,8	4,9	4,9
10	2,5	1,5	49,2	156,0	0,1	0,02	0,03	0,6	0,1	232	-76	2,3	0,3	2,3	0,0	1,4	0,2	1,4	0,0	4,8	4,9	4,9
10	3,0	0,5	53,8	156,0	0,1	0,02	0,01	0,2	0,1	54	-75	0,7	0,2	0,7	0,0	0,4	0,1	0,4	0,0	5,2	5,4	5,3
10	3,0	1,0	53,8	156,0	0,1	0,02	0,02	0,3	0,1	107	-75	1,4	0,3	1,4	0,0	0,9	0,2	0,9	0,0	5,2	5,4	5,3
10	3,0	1,5	53,8	156,0	0,1	0,02	0,03	0,5	0,1	161	-75	2,1	0,4	2,1	0,0	1,3	0,2	1,3	0,0	5,2	5,4	5,3
10	3,5	0,5	57,9	156,0	0,1	0,02	0,01	0,1	0,1	39	-75	0,7	0,2	0,6	0,0	0,4	0,1	0,4	0,0	5,5	5,8	5,7
10	3,5	1,0	57,9	156,0	0,1	0,02	0,02	0,3	0,1	78	-75	1,3	0,4	1,3	0,0	0,8	0,2	0,8	0,0	5,5	5,8	5,7
10	3,5	1,5	57,9	156,0	0,1	0,02	0,03	0,4	0,1	117	-75	2,0	0,4	1,9	0,0	1,2	0,3	1,2	0,0	5,5	5,8	5,7
12	2,5	0,5	59,2	224,6	0,0	0,01	0,01	0,2	0,1	112	-110	1,0	0,2	0,9	0,0	0,5	0,1	0,5	0,0	4,8	4,9	4,9
12	2,5	1,0	59,2	224,6	0,0	0,01	0,02	0,4	0,1	224	-110	1,9	0,3	1,9	0,0	1,0	0,2	1,0	0,0	4,8	4,9	4,9
12	2,5	1,5	59,2	224,6	0,0	0,01	0,03	0,6	0,1	336	-110	2,8	0,3	2,8	0,0	1,4	0,2	1,4	0,0	4,8	4,9	4,9
12	3,0	0,5	64,8	224,6	0,0	0,01	0,01	0,2	0,1	78	-109	0,9	0,2	0,8	0,0	0,4	0,1	0,4	0,0	5,2	5,4	5,3
12	3,0	1,0	64,8	224,6	0,0	0,01	0,02	0,3	0,1	155	-109	1,7	0,3	1,7	0,0	0,9	0,2	0,9	0,0	5,2	5,4	5,3
12	3,0	1,5	64,8	224,6	0,0	0,01	0,02	0,5	0,1	233	-109	2,6	0,4	2,5	0,0	1,3	0,2	1,3	0,0	5,2	5,4	5,3
12	3,5	0,5	69,8	224,6	0,1	0,02	0,01	0,1	0,1	57	-109	0,8	0,2	0,8	0,0	0,4	0,1	0,4	0,0	5,6	5,8	5,8
12	3,5	1,0	69,8	224,6	0,1	0,02	0,01	0,3	0,1	114	-109	1,6	0,4	1,6	0,0	0,8	0,2	0,8	0,0	5,6	5,8	5,8
12	3,5	1,5	69,8	224,6	0,1	0,02	0,02	0,4	0,1	171	-109	2,4	0,4	2,3	0,0	1,2	0,2	1,2	0,0	5,6	5,8	5,8

1) Eau profonde

2) Zone de transition
3) Eau peu profonde

2.2 Théories non-linéaires

La théorie de Stokes aux premiers ordres n'est généralement pas applicable en eau peu profonde. Une approximation de la solution de la théorie de Stokes aux ordres supérieurs est donc nécessaire. Pour le développement au deuxième ordre de la solution, la hauteur de la vague ne doit pas être plus élevée que la moitié de la profondeur d'eau. Selon le Tableau 3, environ 20% des expériences correspondent ainsi à la théorie de Stokes de troisième ordre et plus. C'est pourquoi le développement aux ordres supérieurs, théorie non-linéaire, permet une meilleure représentation de la réalité. La résolution des théories non-linéaires a évolué vers une meilleure description des ondes de gravité par le développement des solutions en série de Fourier. Bien que toutes les théories soient exposées, cette dernière est à privilégier bien que complexe à réaliser.

2.2.1 Théorie de Stokes

La théorie de Stokes (Stokes, 1847) et ses extensions (Chappelear, 1961) (Dean, 1965) (Fenton, 1985) sont très utilisées tant pour les milieux en eaux profondes que peu profondes. Chaque ordre est exprimé selon les théories d'ordre précédent. Cette méthode d'expansion est valide sous la restriction de $H/d << (kd)^2$ et $H/L << 1$ (ce qui ne laisse pas beaucoup d'application selon le Tableau 3)ou $U_R < 79$. Ceci restreint la hauteur de la vague en eau peu profonde. Dans les solutions d'ordre supérieur, on y retrouve des harmoniques de fréquences plus élevées; la vague n'étant plus caractérisée par une seule fréquence. Ainsi, à mesure que les ordres supérieurs sont développés, les crêtes deviennent plus abruptes et les creux plus plats que le profil sinusoïdal de Airy. Pour les vagues très cambrées voyageant dans des eaux peu profondes, l'amplitude des harmoniques peut devenir plus grande que celle de la fréquence fondamentale. À ce moment, la théorie des perturbations (ordre) n'est plus valide. Le développement au cinquième ordre de la théorie de Stokes montre également une seconde crête dans l'onde pour les ondes de grandes amplitudes.

L'approximation jusqu'au deuxième ordre de la théorie de Stokes ne tient pas compte de la hauteur de vague dans le calcul de la vitesse et de la longueur d'onde. Cependant, à partir du troisième ordre, la vitesse et la longueur d'onde de la vague augmentera en fonction de la hauteur de celle-ci. De plus, la trajectoire des particules n'est plus une orbite fermée ce qui donne lieu à un déplacement net des particules dans la direction de propagation. La distance que parcourt une particule lors du passage de la vague divisée par la période est appelée la vitesse du transport de masse $\bar{U}(z)$. Le transport de masse modifie la pression dans la colonne d'eau et génère un courant pour rétablir la distribution de masse. Au deuxième ordre, cette vitesse est donnée en fonction de la profondeur (z) par l'équation suivante :

$$\bar{U}(z) = \left(\frac{\pi H}{L}\right)^2 \frac{C}{2} \frac{\cosh\left(\frac{4\pi(z+d)}{L}\right)}{\sinh^2\left(\frac{2\pi d}{L}\right)}$$

Équation 7. Vitesse du transport de masse (m/s) selon la solution au deuxième ordre de la théorie de Stokes.

L'intérêt de la théorie de Stokes est qu'elle permet de comparer différents ordres d'approximation. Ces comparaisons permettent de choisir la bonne théorie pour le problème donné. Il faut se rappeler qu'une vague de premier ordre est symétrique autour du niveau d'eau moyen et a une trajectoire orbitale fermée. Aux ordres supérieurs, la vague est asymétrique horizontalement et la trajectoire des particules est décrite par une trajectoire orbitale ouverte.

2.2.2 Inclinaison maximum de la pente de la vague

Une onde de gravité progressive est physiquement limitée en hauteur par la profondeur et la longueur d'onde. La limite supérieure de la hauteur d'une déferlante est fonction de la longueur d'onde seulement en eau profonde, et de la longueur d'onde et de la profondeur en zone de transition et en eau peu profonde. La limite en eau profonde est $(H_0/L_0)_{max} = 0.142$ (Michell, 1893). Pour une profondeur de moins de $L_0/2$ ($đ = d\text{-}L_0/2$, Tableau 3), on ajoute un coefficient de $\tanh(2\pi d/L)$ (Miche, 1944). Les valeurs sont calculées dans le Tableau 4 sous l'onglet ΔH (Miche & Michel). Donc, théoriquement il y aurait des problèmes de stabilité pour les vagues hautes (1 et 1,5 mètres) et de basses fréquences (1.5 et 2 secondes).

$$\left(\frac{H}{L}\right)_{max} = \left(\frac{H_0}{L_0}\right)_{max} \tanh\left(2\pi d/L\right)$$

Équation 8. Limite de la cambrure de la vague pour $d < L_0/2$ avant qu'elle ne se déforme

Stokes avait théoriquement prédit qu'une vague demeurerait stable seulement si la vitesse des particules de la crête était inférieure à la vitesse de phase. Si la hauteur de la vague devient telle que cette vitesse devient supérieure, la vague devient instable et déferle. Il avait trouvé qu'une vague avec un angle de crête de moins de 120 degrés déferlerait.

2.3 Autres théories

L'extension de la théorie de Stokes aux ordres supérieurs est devenue plus facile avec l'avènement des ordinateurs, bien que l'exercice mathématique demeure compliqué. Plusieurs ont développé la théorie jusqu'à des ordres élevés, permettant de programmer le profil des vagues, leur vitesse, leur énergie et le stress radiatif.

2.3.1 Théorie non-linéaire des vagues en eau peu profonde

La théorie de Stokes pour les vagues d'amplitude finie est applicable quand la profondeur relative (d/L) est assez grande. Pour des vagues plus longues, une autre théorie doit être utilisée. En eau profonde, à l'approche des eaux peu profonde, la vague est dispersive et certaines fréquences voyagent plus vite que d'autres. En arrivant dans la zone peu profonde, la vague perd de la vitesse et donc sa longueur d'onde diminue, compte tenu que la fréquence est invariable ($C = L/T$). Un autre paramètre doit donc

être utilisé pour la représentation mathématique des vagues en eau peu profonde afin de considérer l'influence combinée de la dispersion d'amplitude et de fréquence.

2.3.2 Théorie de Boussinesq

Plusieurs équations en ***eau peu profonde*** peuvent être dérivées en supposant que la pression est hydrostatique de telle sorte que l'accélération verticale des particules est petite, et en imposant une vitesse horizontale à l'écoulement pour qu'il soit stable par rapport au référentiel donné. On obtient alors la relation de dispersion à partir des équations de Boussinesq (Équation 9).

$$C = \frac{\sqrt{gd}}{\left[1 + \frac{1}{3}(kd)^2\right]^{1/2}}$$

Équation 9. Relation de dispersion pour les vagues de longueur relativement grande où la théorie de Stokes est invalide

La solution la plus élémentaire de l'équation de Boussinesq est la vague solitaire. Une vague solitaire est constituée d'une seule crête et un profil se situant entièrement au-dessus du niveau moyen de l'eau.

2.3.3 Théorie cnoïdale

La théorie cnoïdale est basée sur celle de Boussinesq, mais est restreinte aux vagues progressant dans une seule direction. Elle est applicable aux vagues en eau peu profonde d'amplitude finie et inclut les phénomènes de non-linéarités ainsi que de dispersion. Son nom lui vient du fait qu'elle est définie en termes d'une des fonctions elliptiques de Jacobi, *cn*. Les vagues cnoïdales sont périodiques, caractérisées par des crêtes abruptes et des creux larges et plats. Les vagues cnoïdales sont également plus hautes par rapport à la profondeur d'eau (d) que les vagues de Stokes et la cambrure plus accentuée. La théorie est valide lorsque $d/L < 1/8$ et $U_R > 20$. Lorsque la longueur d'onde (L) devient très grande, la théorie devient celle de la vague solitaire et sinon, si H/d devient très petit, on approche de la théorie linéaire. Plusieurs chercheurs ont apporté leur contribution à cette théorie. Les vitesses, accélérations, énergies et puissances locales des particules sont cependant complexes à décrire.

2.3.4 Théorie de Fenton

La théorie de Fenton (1988), similaire à celle de Dean, décrit les vagues océaniques à toutes les profondeurs mieux que toutes les autres. Elle est obtenue en résolvant numériquement les équations non-linéaires avec des résultats applicables aux vagues en eaux profondes et peu profondes par le développement en série de Fourier de la solution. En comparant toutes les théories entre elles, il a été démontré que des résultats fidèles peuvent être obtenus avec des séries de Fourier de 10 à 20 termes, même pour les vagues proches du déferlement. Il a aussi été démontré que la théorie de Fenton est la meilleure pour décrire les vagues avec une grande variété de hauteur, de période et de profondeur d'eau.

À partir de ces résultats, le domaine de validité des théories cnoïdales et de Stokes ont été définie à :

$$\frac{L}{d} = 21{,}5e^{\left(-1{,}87\frac{H}{d}\right)}$$

Équation 10. La définition de Fenton & McKee (1990) de la validité des théories de Stokes et cnoïdale.

Pour des longueurs d'onde plus grandes que celles définies par cette équation, la théorie cnoïdale est à privilégier tandis que pour des plus petites, la théorie de Stokes est applicable. Celle de Fenton peut être utilisée en tout temps.

2.3.5. Déferlement

La hauteur d'une vague est limitée par la profondeur et la longueur d'onde. Au-dessus d'une certaine limite, la vague se brisera. Cette limite est appelée la hauteur de déferlement et est fonction seulement de la longueur d'onde en eau profonde, et de la profondeur et de la longueur d'onde en eau peu profonde. Plusieurs études ont été faites et suggèrent une limite de $H/L = 0{,}141$ en eau profonde et de $H/d = 0{,}83$ pour les vagues solitaires en eau peu profonde (voir Tableau 2) ce qui est relativement respecté dans cette étude exception faites des vagues de très courtes période (1.5 sec.) n'étant par contre pas représentatives des vagues retrouvées en haute-mer.

2.3.6 Limite de validité des théories

Les théories non-linéaires permettent de mieux décrire le transport de masse, le déferlement, la réflexion, la transmission et d'autres caractéristiques non-linéaires. Ainsi, la théorie linéaire, bien que pertinente pour des modèles simples, doit être utilisée avec circonspection, sauf lorsque de grandes incertitudes sont en jeu. Dans ce cas, les efforts supplémentaires pour prendre en compte les effets non-linéaires ne sont pas justifiés puisque l'erreur finale due aux incertitudes sur la hauteur de la vague ou la période sera plus grande que l'erreur obtenue en négligeant les effets non-linéaires. Si les incertitudes sont très petites, les théories non-linéaires fournissent des estimations plus précises. Pour finir, spécifions que la théorie cnoïdale est recommandée pour des vagues de pente faible en eau peu profonde tandis que les théories de Stokes d'ordre élevé le sont pour des vagues abruptes en eau profonde. Une table (Le Méhauté, 1976) permet de vérifier la ***validité des théories***. En zone de transition, si la cambrure est faible, la théorie linéaire peut être utilisée mais d'autre théories également. D'ailleurs, la théorie de Fenton est appropriée dans presque toutes les situations.

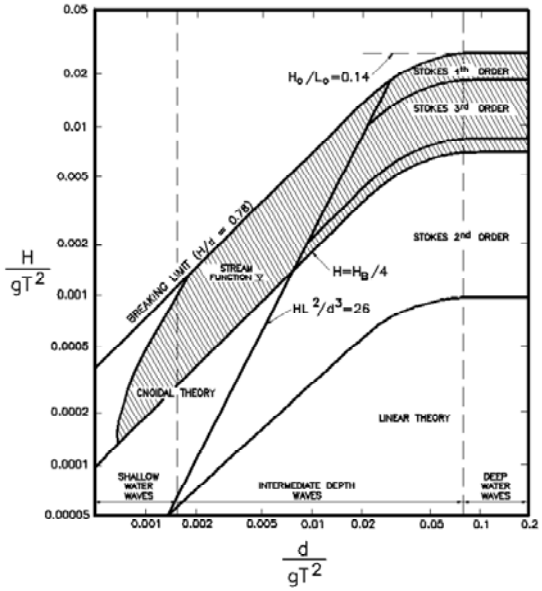


Figure 5. Validité des théories en fonction des paramètres H et T (Le Méhauté, 1976); (Coastal Engineering Manual-chapter 1, Part II (EM 1110-2-1100), 2002)

Tableau 4. Valeur de ΔH (Miche & Michel) égal à 1 dans le cas où $H/L < (H/L)_{max}$ indiquant que la vague n'est pas sujette au changement de forme où $(H/L)_{max}$ est déterminé par Équation 8, comparaison des différents critères des théories de Stokes (section 2.2.1 Théorie de Stokes) et cnoïdale (section 2.3.3 Théorie cnoïdale) avec ceux de Fenton & McKee (1990), 0 indiquant que la théorie s'applique pas et 1 qu'elle s'applique, les facteurs d/gT^2 et H/gT^2 servent également à déterminer les limites de validité de chaque (Le Méhauté, 1976) (Figure 5). En rouge, on observe des problèmes de déferlement dans le canal.

T	d	H	ΔH (Miche & Michel)	Stokes	Stokes (Fenton & McKee)	Cnoidale	Cnoidale (Fenton & McKee)	d/gT2 (Méhauté)	H/gT2 (Méhauté)
s	m	m							
1,5	2,5	0,5	0	1	1	0	0	0,113	0,023
1,5	2,5	1,0	0	1	1	0	0	0,113	0,045
1,5	2,5	1,5	0	1	1	0	0	0,113	0,068
1,5	3,0	0,5	0	1	1	0	0	0,136	0,023
1,5	3,0	1,0	0	1	1	0	0	0,136	0,045
1,5	3,0	1,5	0	1	1	0	0	0,136	0,068
1,5	3,5	0,5	0	1	1	0	0	0,159	0,023
1,5	3,5	1,0	0	1	1	0	0	0,159	0,045
1,5	3,5	1,5	0	1	1	0	0	0,159	0,068
2	2,5	0,5	0	1	1	0	0	0,064	0,013
2	2,5	1,0	0	1	1	0	0	0,064	0,025
2	2,5	1,5	0	1	1	0	0	0,064	0,038
2	3,0	0,5	0	1	1	0	0	0,076	0,013
2	3,0	1,0	0	1	1	0	0	0,076	0,025
2	3,0	1,5	0	1	1	0	0	0,076	0,038
2	3,5	0,5	0	1	1	0	0	0,089	0,013
2	3,5	1,0	0	1	1	0	0	0,089	0,025
2	3,5	1,5	0	1	1	0	0	0,089	0,038
4	2,5	0,5	1	1	1	0	0	0,016	0,003
4	2,5	1,0	1	1	1	0	0	0,016	0,006
4	2,5	1,5	1	1	0	0	1	0,016	0,010
4	3,0	0,5	0	1	1	0	0	0,019	0,003
4	3,0	1,0	0	1	1	0	0	0,019	0,006
4	3,0	1,5	0	1	1	0	0	0,019	0,010
4	3,5	0,5	0	1	1	0	0	0,022	0,003
4	3,5	1,0	0	1	1	0	0	0,022	0,006
4	3,5	1,5	0	1	1	0	0	0,022	0,010
6	2,5	0,5	1	1	1	1	0	0,007	0,001
6	2,5	1,0	1	1	0	1	1	0,007	0,003
6	2,5	1,5	1	0	0	1	1	0,007	0,004
6	3,0	0,5	1	1	1	0	0	0,008	0,001

6	3,0	1,0	1	1	1	1	0	0,008	0,003
6	3,0	1,5	1	1	0	1	1	0,008	0,004
6	3,5	0,5	1	1	1	0	0	0,010	0,001
6	3,5	1,0	1	1	1	1	0	0,010	0,003
6	3,5	1,5	1	1	1	1	0	0,010	0,004
8	2,5	0,5	1	1	0	1	1	0,004	0,001
8	2,5	1,0	1	0	0	1	1	0,004	0,002
8	2,5	1,5	1	0	0	1	1	0,004	0,002
8	3,0	0,5	1	1	1	1	0	0,005	0,001
8	3,0	1,0	1	1	0	1	1	0,005	0,002
8	3,0	1,5	1	0	0	1	1	0,005	0,002
8	3,5	0,5	1	1	1	1	0	0,006	0,001
8	3,5	1,0	1	1	0	1	1	0,006	0,002
8	3,5	1,5	1	1	0	1	1	0,006	0,002
10	2,5	0,5	1	1	0	1	1	0,003	0,001
10	2,5	1,0	1	0	0	1	1	0,003	0,001
10	2,5	1,5	1	0	0	1	1	0,003	0,002
10	3,0	0,5	1	1	0	1	1	0,003	0,001
10	3,0	1,0	1	0	0	1	1	0,003	0,001
10	3,0	1,5	1	0	0	1	1	0,003	0,002
10	3,5	0,5	1	1	0	1	1	0,004	0,001
10	3,5	1,0	1	1	0	1	1	0,004	0,001
10	3,5	1,5	1	0	0	1	1	0,004	0,002
12	2,5	0,5	1	0	0	1	1	0,002	0,000
12	2,5	1,0	1	0	0	1	1	0,002	0,001
12	2,5	1,5	1	0	0	1	1	0,002	0,001
12	3,0	0,5	1	1	0	1	1	0,002	0,000
12	3,0	1,0	1	0	0	1	1	0,002	0,001
12	3,0	1,5	1	0	0	1	1	0,002	0,001
12	3,5	0,5	1	1	0	1	1	0,002	0,000
12	3,5	1,0	1	0	0	1	1	0,002	0,001
12	3,5	1,5	1	0	0	1	1	0,002	0,001

On voit qu'il y a des contradictions là où il y a convergence des théories. Il n'est pas évident d'identifier quelle théorie utiliser. Cependant, l'information contenue dans les Tableau 3 et les Tableau 4 ainsi qu'à la Figure 5 peuvent aider à interpréter le type de vague que l'on retrouve dans le canal et en milieu naturel. Dans le Tableau 4, on peut voir que certains types de vagues sont plus difficiles que d'autres à recréer sans déferlement. En effet, selon la théorie de Miche & Michel, les vagues sont moins sujettes à se déformer plus la longueur d'onde (L) et le niveau d'eau (d) augmentent alors que la hauteur de vague (H) diminue. Selon les spécifications du fabriquant (Annexe C), on remarque également que ces longueurs d'onde sont à la limite du réalisable pour l'installation du canal de l'INRS-ETE. Cependant, les critères pour le non déferlement (section 2.3.5. Déferlement des vagues) sont respectés.

3. Objectifs et hypothèses

L'objectif premier de cette étude est de 1) déterminer la qualité et la validité des données recueillies à l'aide du système d'acquisition situé tout le long du canal. Pour ce faire, plusieurs paramètres caractéristiques théoriques et expérimentaux ont été analysés et comparés afin de vérifier la validité des résultats obtenus. Dans un deuxième temps, l'intérêt de cette recherche est de 2) caractériser le canal à l'aide de ces paramètres et de déterminer la composition réelle des vagues générées. Finalement, le laboratoire a concentré ses efforts à 3) mesurer les effets de turbulence et de friction générés par les effets de bord dans le canal. Les hypothèses de travail considèrent que les théories linéaire et non-linéaire des vagues régulières, brièvement discutées dans la section précédente, s'appliquent à ce type d'analyse. Il est également pris en compte que les parois du canal créent une friction lors de la propagation de la vague, induisant de la turbulence et modifiant ainsi son énergie. Le but est de voir s'il est possible d'estimer l'erreur causée par cette friction sur la propagation des vagues dans le canal.

Pour ce faire, la première expérience, l'expérience 1, visait à vérifier la qualité des données recueillies plus spécifiquement par les deux appareils de courant Vectrino II positionnés au fond du canal. Bien que les appareils soient calibrés par la compagnie Nortek, cette expérience vérifie si l'étalonnage de ces courantomètres s'est modifié durant les expériences. Du coup, les valeurs du ratio signal et bruit pour les appareils Vectrino I et II ont été compilées pour l'ensemble des expériences. Le système d'acquisition de données est également analysé. L'expérience 2, comptait plusieurs sondes d'acquisition de données afin d'acquérir le maximum d'information simultanément sur le régime des vagues dans le canal. Finalement, l'expérience 3 avait pour but de vérifier la possibilité de mesurer des courants sur les parois verticales du canal. De plus, dans les expériences 2 et 3, certains Vectrino I et Vectrino II ne sont pas orientés de façon optimale ; le but étant de vérifier si l'hydrodynamisme affectait la qualité des données.

L'installation fournit une multitude d'applications pouvant contribuer à d'importantes études sur l'hydraulique environnementale et l'érosion côtière. Il est intéressant de comparer les diverses études actuelles faites sur l'étude du littoral aux possibilités offertes par le canal de l'INRS-ETE. Il est important de noter que ce rapport se concentre sur l'étude des vagues régulières et ce, dans un canal sans sédiments et avec un enrochement amortissant les vagues à l'extrémité du canal. Une brève revue de littérature pertinente à l'étude est également présentée. Il sera par contre intéressant de comparer les résultats de cette étude aux expériences et recherches actuelles sur les vagues telles que générées par le canal. Ce rapport détaillé sur les caractéristiques du canal espère faire un premier pas vers les intérêts de la communauté internationale de recherche scientifique dans le domaine.

4. Matériel et méthodes

Tableau 5. Symboles et abréviations

Symboles		
T	Période	s
f	Fréquence	m
H	Hauteur de la vague	m
L	Longueur d'onde de la vague	m
d	Profondeur d'eau	m
H/L	Cambrure de la vague	-
d/L	Profondeur relative	-
H/d	Hauteur relative	-
đ	Profondeur de propagation relative	m
U_R	Nombre d'Ursell (L^2H/d^3)	-
k	Nombre d'onde ($2\pi/L$)	m^{-1}
ω	Fréquence angulaire ($2\pi/T$)	s^{-1}
θ	Phase	rad
C	Vitesse de phase	rad s^{-1}
C_0	Vitesse de phase en eau profonde	rad s^{-1}
L_0	Longueur d'onde de la vague	m
Vx	Vitesse horizontale des particules dans le sens de propagation	m s^{-1}
Vy	Vitesse latérale des particules perpendiculaire au sens de propagation	m s^{-1}
Vz	Vitesse horizontale des particules perpendiculaire au sens de propagation	m s^{-1}
A	Déplacement horizontale des particules	m
B	Déplacement vertical des particules	m
C_g	Vitesse de groupe	m s^{-1}
C_{g0}	Vitesse de groupe en eau profonde	m s^{-1}
E	Énergie totale du système de vague	J
$\bar{E}$	Densité d'énergie du système de vague (E/L)	J m^{-1}
$\bar{E}C_g$	Flux d'énergie du système de vague	J s^{-1}
$\bar{U}(z)$	Vitesse du transport de masse	m s^{-1}
η(x,t)	Élévation de la surface par rapport au niveau d'eau moyen	m
g	Constante de gravité (9.81)	m s^{-2}

4.1 Appareils de mesure et système d'acquisition

4.1.1 Propriétés du canal

L'infrastructure comprend un canal à vagues de 5 m de large et 5 m de haut d'une longueur de 120 m. Construit en béton, ce canal est adjacent à un réservoir linéaire d'une capacité d'environ 3300 m^3 comprenant à sa base une conduite assurant la circulation de l'eau. Le propulseur installé dans la conduite est en mesure de produire un débit effectif maximal de 4 m^3/s, soit un courant maximal de 0,8 m/s dans une profondeur de 1 mètre d'eau sans enrochement. Le canal à vagues permet d'inverser le courant pour utiliser les deux directions du canal, de varier cette vitesse à la baisse, de produire ce courant en simultané avec la génération de vagues, de fonctionner en mode houle, en mode houle/marée, et en mode courant (rivière), en puisant les volumes requis à même le réservoir latéral via une pompe de transfert.

Les vagues sont générées par un générateur installé dans un bâtiment placé à une extrémité du canal. Ce générateur fait partie d'un lot séparé déjà octroyé à la firme MTS System Corporation (USA). L'installation permet de créer des vagues régulières et irrégulières. En plus du raccordement au réseau électrique des équipements du générateur de vagues, le concept comprend un système de refroidissement pour dissiper la chaleur produite, un bassin de captation des huiles et un séparateur d'huile pour les fuites qui toucheraient l'eau du canal. Le batteur à houle permet de créer des vagues entre 1 et 12 secondes de période et une hauteur maximale de vague de 1,8 mètre. Le canal est équipé de structures en métal démontables permettant d'installer jusqu'à 14 stations d'acquisition de données sur la façade intérieure du canal sur le côté est et, à la même hauteur, 14 jauges de niveau d'eau sur la façade intérieure du canal mais du coté ouest; le canal étant orienté nord-sud. Dans le cadre de cette étude, quatre stations d'acquisition ont été utilisées (St. 1, St. 3, St. 5, St. 7), situées respectivement à 20, 40, 60 et 80 mètres du batteur, et équipées d'appareils de mesure (Figure 7).

4.1.2 Hauteur des vagues

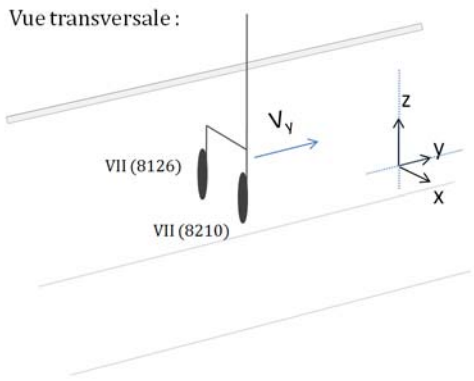
La hauteur des vagues est mesurée à l'aide de jauges RBR, nommées WG-50 ou ci-dessous par WG tout simplement, à partir d'une boite de contrôle, comprenant le circuit électronique de collecte et de transfert des données, ainsi que des sondes sous forme de câbles mesurant la capacitance en guise de hauteur d'eau. La fréquence d'échantillonnage est modifiable et réglée entre 10 Hz et 20 Hz dans le cadre de cette étude. Les sondes doivent être calibrées avant chaque utilisation. L'erreur est de 0,4 %.

4.1.2 Vitesse de courants

Pour les mesures de courant, deux appareils différents de Nortek ont été utilisés. D'abord, des Vectrino I ont été installés dans la colonne d'eau. Ces appareils peuvent mesurer des courants entre 0,1 et 4,0 $\pm$ 0,01 m/s. La hauteur du volume d'échantillonnage, situé à 0,05 m de la sonde, est de 3 à 15 mm et fournit une seule valeur de courant en 3 dimensions (Vx, Vy, Vz). Près du fond, des Vectrino II ont été installés de sorte qu'il soit possible d'avoir plusieurs données de courant à un intervalle de 1 mm sur une distance de 3,5 cm au fond du canal. L'erreur des appareils est de 0,5 %. La fréquence d'échantillonnage est modifiable et réglée entre 10 Hz.

4.2 Expérimentation

Expérience 1 :



Les tests sur l'étalonnage des appareils de courant ont été faits, bien que calibrés par la compagnie Nortek, pour s'assurer de la qualité des données. Pour ce faire, une simple comparaison des vitesses entre les deux appareils de Vectrino II a d'abord été réalisée (Figure 6). L'expérience consistait à prendre des mesures de la vitesse de déplacement des Vectrino II, tous deux attachés au pont roulant surplombant le canal, allant à une vitesse de 15, 20, 30, 40 et 60 cm s^{-1}.

Figure 6. Montage réalisé pour le test d'étalonnage des appareils Vectrino II; les deux appareils se déplaçant à la même vitesse dans l'axe longitudinal (X) du canal.

Ainsi, les vitesses de courant des deux appareils ont été comparées afin de s'assurer qu'il n'y ait pas d'écart significatif entre les deux appareils. Un autre indicateur est également utilisé pour connaître la qualité et la validité des valeurs de courants, les valeurs de SNR (signal-to-noise ratio) (Équation 11). Ceux-ci, jumelés avec les moyennes, les écarts-types et les images complètes des vitesses (expérience 2), ont permis d'approximer l'erreur et la précision des mesures faites. Pour les données de niveau d'eau, l'absence de vérification de l'étalonnage après les expériences empêche toute forme de traitement de qualité.

$$SNR = 20log_{10}\left(\frac{Amplitude_{signal}}{Amplitude_{noise}}\right)$$

Équation 11. Signal-to-noise ratio (SNR); proportionnelle au ratio de l'amplitude du signal et du bruit

Expérience 2 :

Dans cette deuxième expérience (Figure 7), plusieurs appareils (Vectrino I, Vectrino II et WG) ont été installés le long du canal à 4 des 14 stations (St. 1, St. 3, St. 5 et St. 7). À la station 5, un simple test sur l'effet de l'hydrodynamisme sur les mesures faites par les Vectrino I a également été réalisé. Ces appareils ont été positionnés différemment ; un à l'horizontal (haut) et un autre (bas), l'axe des X orienté à contre courant (i.e. vers le nord). Il est donc nécessaire dans un premier temps d'extraire les données et de les situer dans un référentiel commun selon le montage de la Figure 7. Pour ce faire, seulement les axes des Vectrino I situés à la station 5 devaient être replacés dans le référentiel commun (Figure 11).

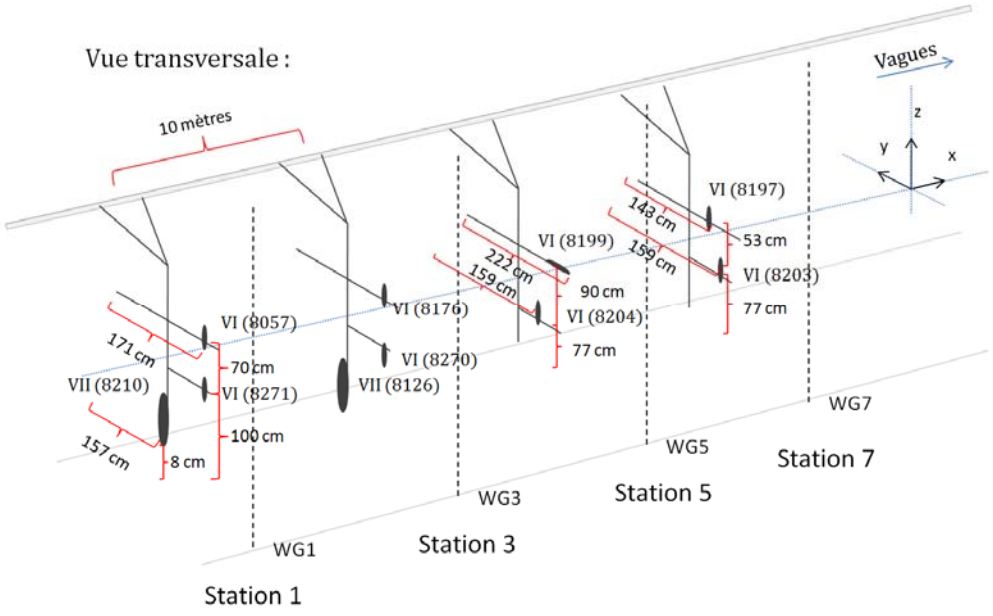


Figure 7. Montage de l'expérience 1; la station 3 est montée de la même façon que la station 1, la station 5 et 7 étant n'ayant pas de Vectrino II. On y compte en tout 2 Vectrino II (VII), 8 Vectrino I (VI) et 4 jauges de niveau d'eau (WG) en traits pointillés. L'axe longitudinal du canal est parallèle à l'axe des X, l'axe transversal à l'axe des Y et l'axe vertical à l'axe des Z. Les stations sont espacées de 20 mètres.

Expérience 3 :

Pour mesurer les effets de turbulence et de friction générés par les effets de bord dans le canal, une bonne résolution d'échantillonnage sur les données de courant et de niveau d'eau était nécessaire. L'expérience 3 consiste donc en un troisième montage assemblé en partie à la St. 1 (semblable à la St. 1 de l'expérience 2), comprenant un Vectrino I et un Vectrino I supplémentaires près de la façade côté est (Figure 9). Le but de l'expérience est de savoir s'il est possible d'estimer l'erreur causée par la friction lors de la propagation des vagues dans le canal en mesurant des perturbations (i.e. turbulences) à partir des mesures de courant et de niveau d'eau. En fonction de la distance parcourue, l'énergie de la vague diminuerait et pourrait possiblement être pris en considération dans les expériences futures. Ayant noté à l'expérience 2 des problèmes de déferlement des vagues devant le batteur (Tableau 4), le diffuseur devant celui-ci a été retiré. Le diffuseur créait une marche devant le batteur qui, à la création de la vague, modifiait la profondeur de propagation (d) de près d'un mètre au départ (Figure 8).



Figure 8. Attaché au pont roulant, le diffuseur situé devant le batteur est retiré.

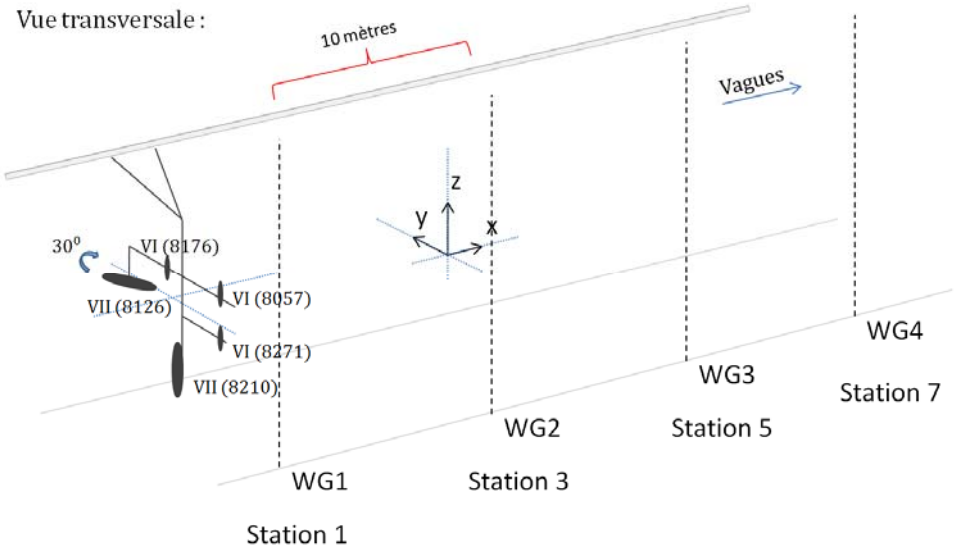
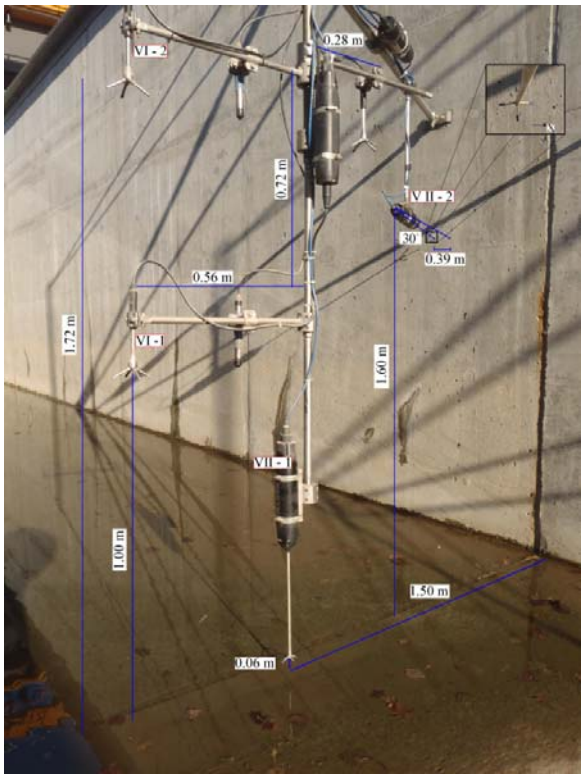


Figure 9. Montage de l'expérience 3; 2 Vectrino II, 3 Vectrino I et 4 jauges de hauteur. Voir les détails sur les distances à la Figure 10.



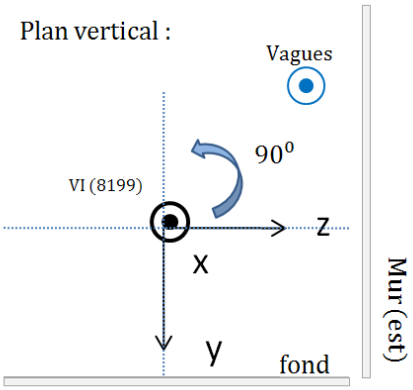
Le Vectrino II situé près du sol a été placé plus près de celui-ci comparativement à l'expérience 2, les dernières cellules n'ayant pas atteint le fond du canal. Le volume échantillonné ce situe là où l'appareil a une meilleure qualité de données selon les valeurs SNR, à environ 5 cm de l'appareil. Le deuxième Vectrino II a été placé perpendiculairement à la paroi du canal, côté est, avec un angle de 30 degrés vers l'aval du canal; de là où proviennent les vagues. Deux matrices de rotation ont donc été nécessaires afin de remettre le deuxième Vectrino II (V II - 2) dans le même référentiel que les autres appareils; une rotation autour de l'axe des Y et une autre autour de l'axe de X.

Figure 10. Photographie de la station 1 et du montage de l'expérience 3 comprenant 2 Vectrino II et 3 Vectrino I

4.3 Analyse et traitement de données

4.3.1 Matrice de rotation

Les matrices de rotation sont nécessaires pour remettre un système de coordonnée d'un appareil, placé marginalement, dans le même référentiel que celui du canal telle que la majorité des appareils. Pour ce faire, il faut effectuer une rotation successive des axes et recalculer les nouvelles coordonnées dans le nouveau référentiel. Pour l'expérience 1, seule une rotation autour de l'axe des X du Vectrino I (8199) situé en haut de la St. 5 est nécessaire (Figure 11). Pour le Vectrino I (8204) au bas de la St. 5, une rotation également suffit autour de l'axe des Z (Figure 12).



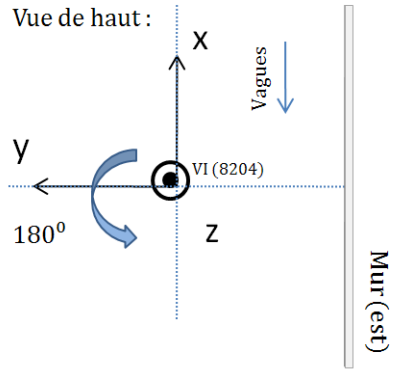
Rotation autour de l'axe des X :

$\theta = 90^0$

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(90°) & \sin(90°) \\ 0 & -\sin(90°) & \cos(90°) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}$$

x' = x
y' = z
z' = - y

Figure 11. Matrice de rotation pour l'appareil Vectrino I - 8199 (St. 5 haut) pour l'expérience 1; rotation autour de l'axe des X dans le sens antihoraire de 90^0.



Rotation autour de l'axe des Z :

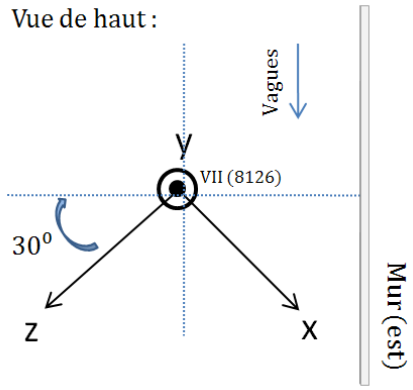
$\theta = 180^0$

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(180°) & \sin(180°) & 0 \\ -\sin(180°) & \cos(180°) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}$$

x' = -x
y' = -y
z' = z

Figure 12. Matrice de rotation pour l'appareil Vectrino I - 8204 (St. 5 bas) pour l'expérience 1; rotation autour de l'axe des Z dans le sens antihoraire de 180^0.

Pour l'expérience 3, une première rotation autour de l'axe des Y du Vectrino II (8126) près du mur de la St. 1 est d'abord nécessaire (Figure 13). Ensuite, une deuxième rotation autour de l'axe des X du même appareil permet de remettre son système de coordonnées dans le référentiel du canal (Figure 14); $\cos(\theta) = \cos(-\theta)$ et $\sin(-\theta) = -\sin(\theta)$.



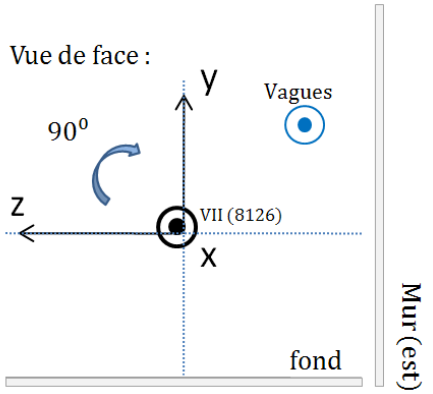
Rotation autour de l'axe Y:

$\theta = 30^0$

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(30°) & 0 & \sin(30°) \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin(30°) & 0 & \cos(30°) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}$$

x' = 0.866 x + 0.500 z
y' = y
z' = -0.500 x + 0.866 z

Figure 13. Matrice de rotation pour l'appareil Vectrino II - 8126 (St. 1) dans l'expérience 3; rotation autour de l'axe des Y dans le sens antihoraire vu d'en dessous de 30^0.



Rotation autour de l'axe X

$\theta = -90^0$

$$\begin{bmatrix} x'' \\ y'' \\ z'' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(90°) & -\sin(90°) \\ 0 & \sin(90°) & \cos(90°) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{bmatrix}$$

x' = x
y' = -z
z' = y

Figure 14. Matrice de rotation pour l'appareil Vectrino II - 8126 (St. 1) dans l'expérience 3; rotation autour de l'axe des X dans le sens horaire de 90^0.

4.3.2 Visualisation des données

Pour la majorité des données, une simple série temporelle suffit à l'interprétation des mesures effectuées. Par contre, sachant que les trajectoires des particules dans la colonne d'eau sont des orbitales (Tableau 3), les vitesses de courant dans l'axe du canal (X) sont illustrées en fonction des vitesses verticales (Z). Les vitesses transversales (Y) sont considérées comme des perturbations. Pour les niveaux d'eau, une analyse par transformée de Fourier, à l'aide du logiciel MATLAB, a permis de décomposer le signal en fréquences de différentes amplitudes.

Pour ce qui est des Vectrino II, la situation est plus complexe vu qu'une trentaine de cellules donnent le même nombre de vecteurs en trois dimensions (3D) de la vitesse du courant. L'orbitale des courants a quand même été calculée pour être comparée aux orbitales de courant des Vectrino I (colonne 13 utilisée). Ensuite, toutes les cellules ont été utilisées dans l'analyse des courants de fond selon la Figure 15. Le Vectrino II mesurant les courants dans une série de cellules verticales, il est d'abord plus facile de s'imaginer la projection des vecteurs en 3D dans le plan XZ. On peut ainsi faire une série temporelle de ces projections pour obtenir une idée du mouvement vertical au niveau du fond. Pour obtenir une idée du mouvement horizontal, il faut distribuer les cellules selon l'axe des Y pour désempiler les cellules, les projeter dans le plan XY et effectuer également une série temporelle. Vu que le mouvement est majoritairement dans l'axe des X, qui se retrouve dans les deux types de projection, les deux séries sont semblables mais les perturbations que l'on y retrouve sont soit dans le plan vertical (i.e. de haut en bas) ou horizontal (i.e. de gauche à droite). Par mégarde, les axes des Z et Y ont été placés vers le bas selon les Figure 28 et 29.

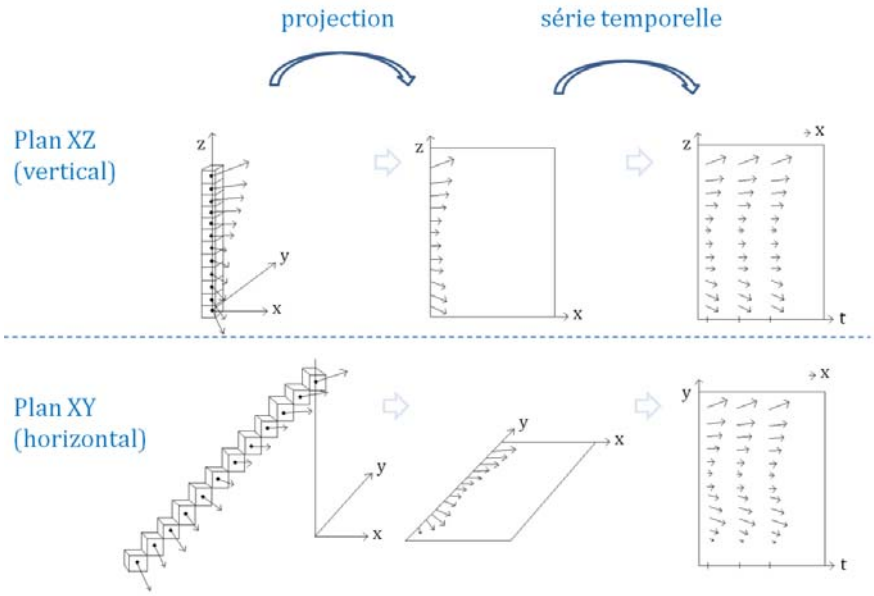


Figure 15. Distribution des vecteurs de vitesse des courants dans les cellules telle que mesurée par les appareils Vectrino II, les projections dans le plan XZ et XY sont utilisées pour caractériser les perturbations verticales et latérales respectivement[2]. Les flèches sont proportionnelles entre elles dans les séries d'analyse réalisées ; la norme des vecteurs est calculée en arrière plan à l'aide d'une échelle de couleur

[2] L'orientation des axes n'est pas la même à l'expériences 1 (Figure 6) qu'aux expériences 2 et 3 (Figure 7)(Figure 9)

5. Résultats

5.1 Expérience 1 :

Cette expérience consiste principalement à une vérification des étalonnages et de la qualité des données des appareils. Dans un premier temps, une simple comparaison des vitesses entre les deux appareils de Vectrino II a d'abord été réalisée (section 5.1.1 Vectrino II) afin de s'assurer qu'il n'y a pas d'écart significatif entre les deux appareils. Les valeurs de SNR (signal-to-noise ratio) (Équation 11), jumelées avec les moyennes et les écarts-types des tableaux, ainsi que les images complètes des vitesses de l'expérience 2, permettent d'approximer l'erreur et la précision des mesures faites.

5.1.1 Vectrino II

Les figures suivantes montrent les vitesses de déplacement des Vectrino II, tous deux attachés au pont roulant surplombant le canal, allant à une vitesse de 15, 20, 30, 40, 50 et 60 cm s^{-1}. On remarque que les 10 dernières ont une plus grande source d'erreur. Pour l'expérience 1, ces cellules ont été utilisées près du fond. Par contre, elles n'ont pas été utilisées dans l'expérience 3 afin d'obtenir la meilleure qualité possible des données.

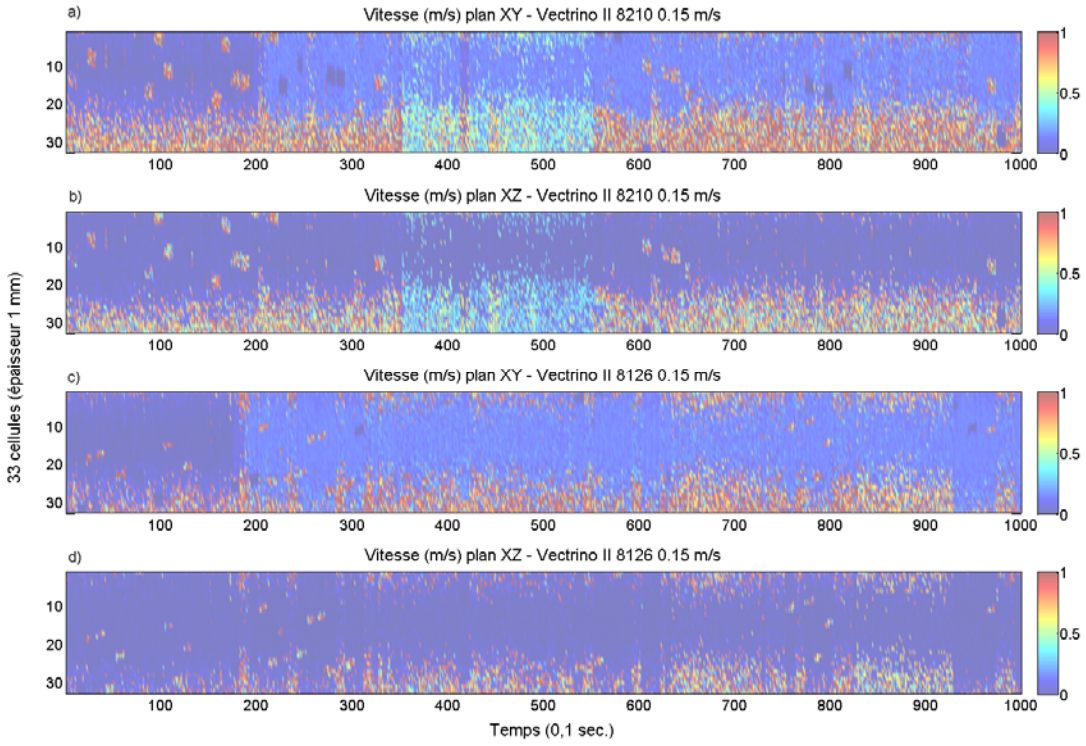


Figure 16. Vitesses des appareils Vectrino II se déplaçant le long du canal dans le plan XY, parallèles à l'axe des Y, à 0,15 m s^{-1}. Les normes des vecteurs dans le plan XY (0,15 m s^{-1}) en a) et c) et dans le plan XZ (vitesse nulle) en b) et d) des appareils 8210 et 8126 sont illustrées.

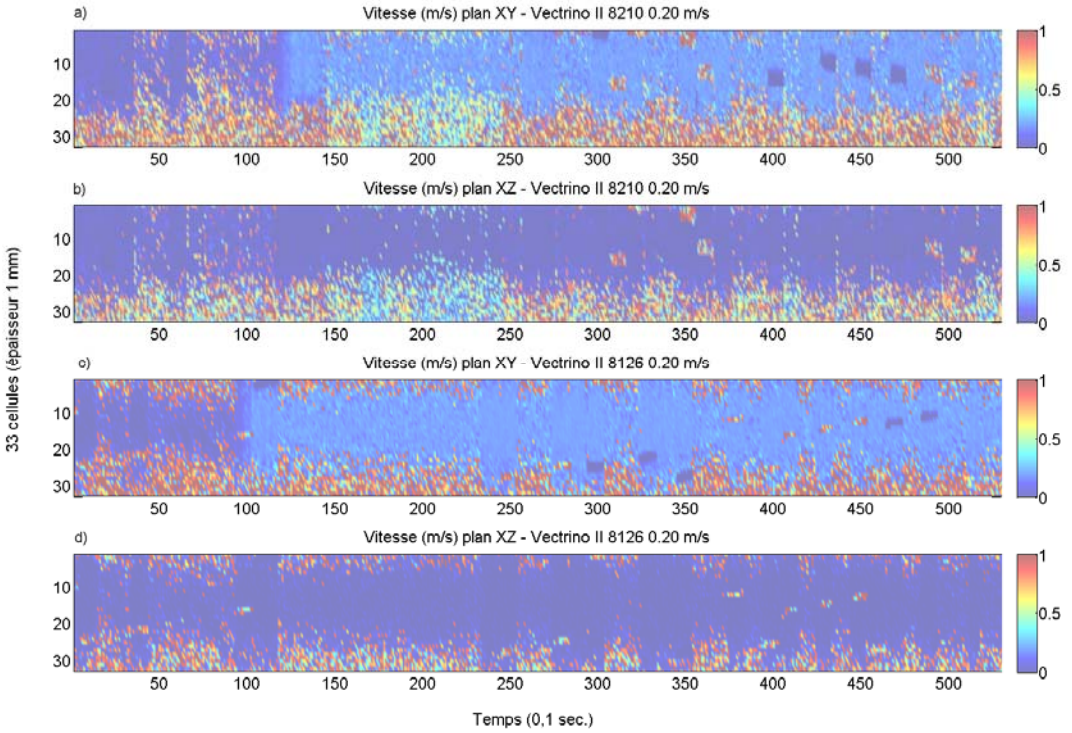


Figure 17. Vitesses des appareils Vectrino II se déplaçant le long du canal dans le plan XY, parallèles à l'axe des Y, à 0,20 m s^{-1}. Les normes des vecteurs dans le plan XY (0,20 m s^{-1}) en a) et c) et dans le plan XZ (vitesse nulle) en b) et d) des appareils 8210 et 8126 sont illustrées.

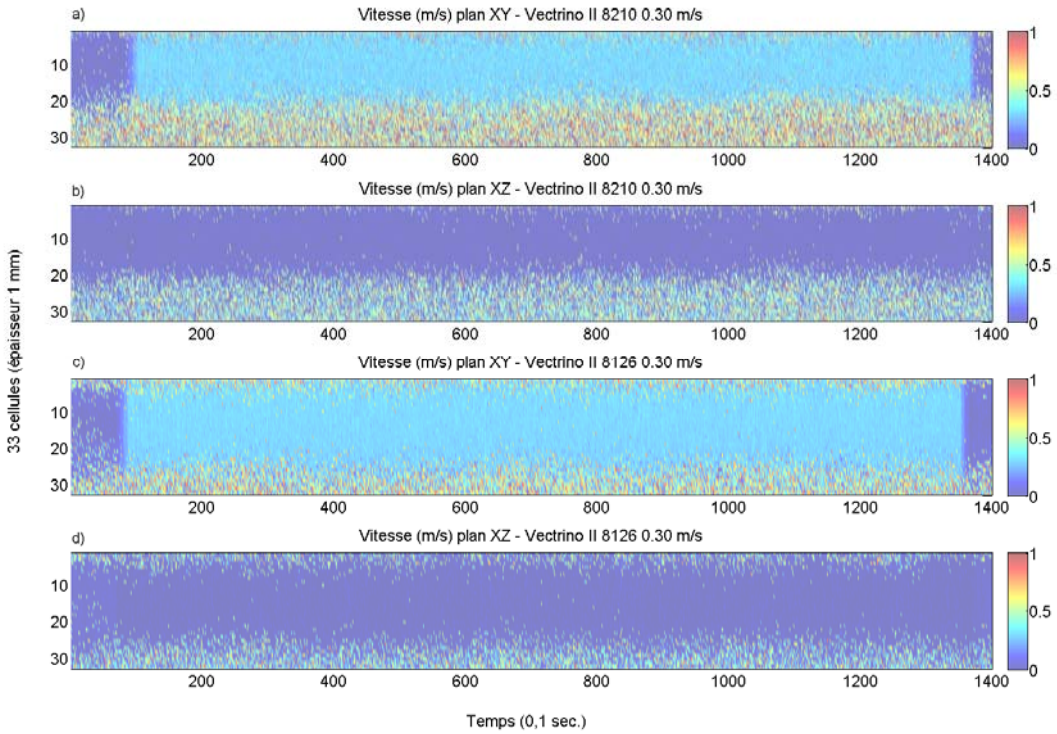


Figure 18. Vitesses des appareils Vectrino II se déplaçant le long du canal dans le plan XY, parallèles à l'axe des Y, à 0,30 m s^{-1}. Les normes des vecteurs dans le plan XY (0,30 m s^{-1}) en a) et c) et dans le plan XZ (vitesse nulle) en b) et d) des appareils 8210 et 8126 sont illustrées.

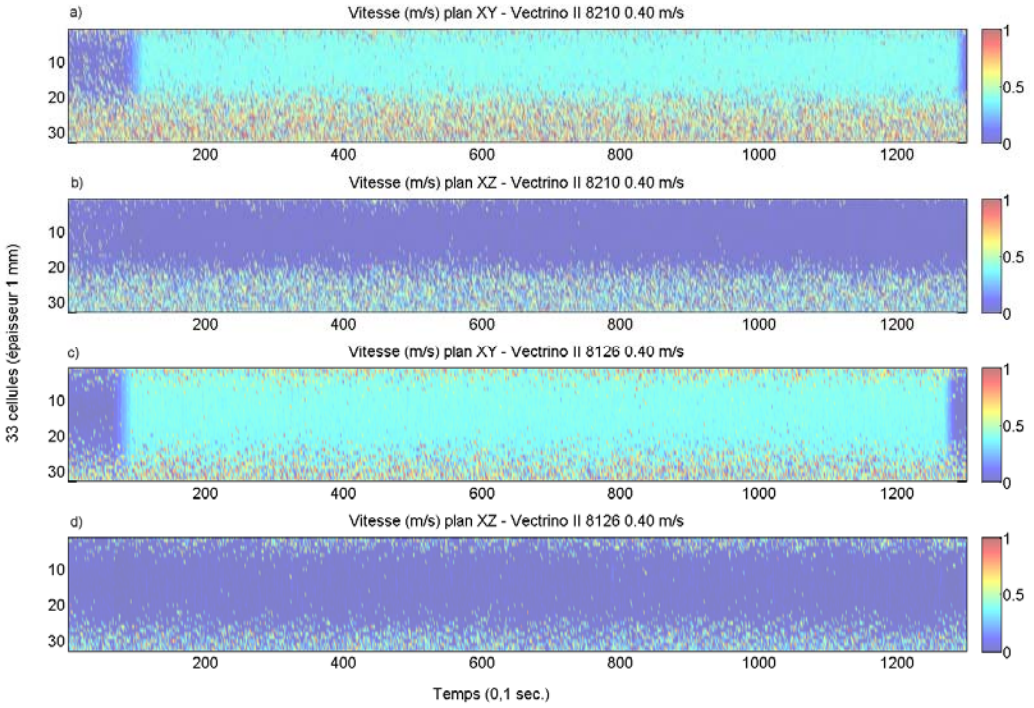


Figure 19. Vitesses des appareils Vectrino II se déplaçant le long du canal dans le plan XY, parallèles à l'axe des Y, à 0,40 m s^{-1}. Les normes des vecteurs dans le plan XY (0,40 m s^{-1}) en a) et c) et dans le plan XZ (vitesse nulle) en b) et d) des appareils 8210 et 8126 sont illustrées.

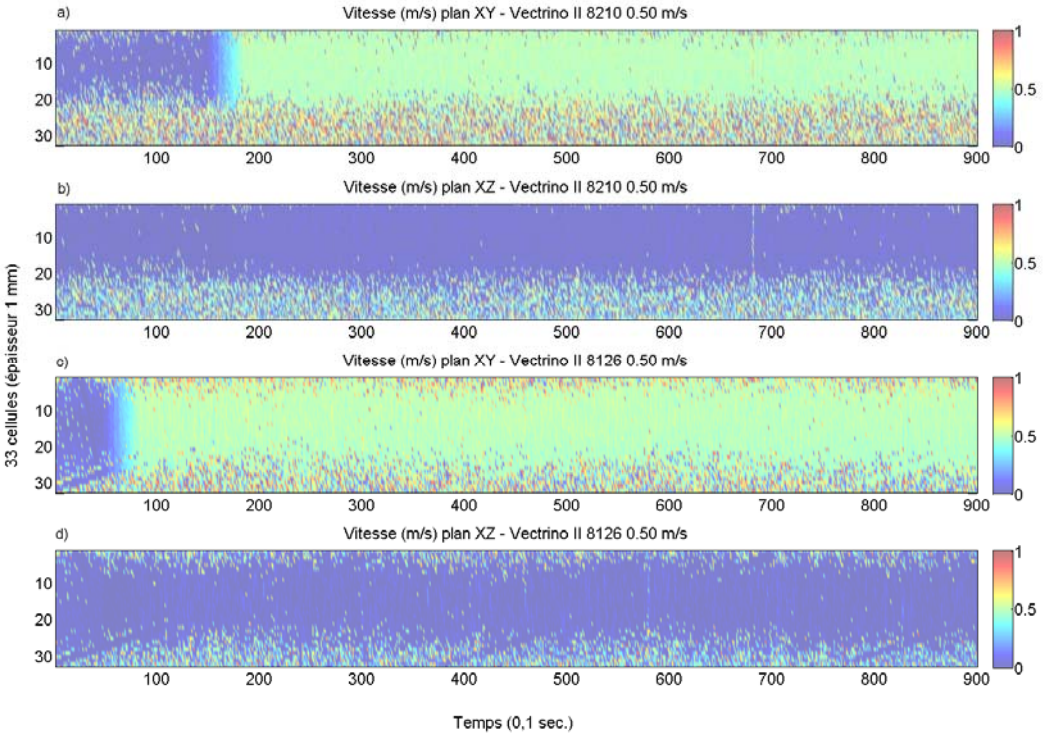


Figure 20. Vitesses des appareils Vectrino II se déplaçant le long du canal dans le plan XY, parallèles à l'axe des Y, à 0,50 m s^{-1}. Les normes des vecteurs dans le plan XY (0,50 m s^{-1}) en a) et c) et dans le plan XZ (vitesse nulle) en b) et d) des appareils 8210 et 8126 sont illustrées.

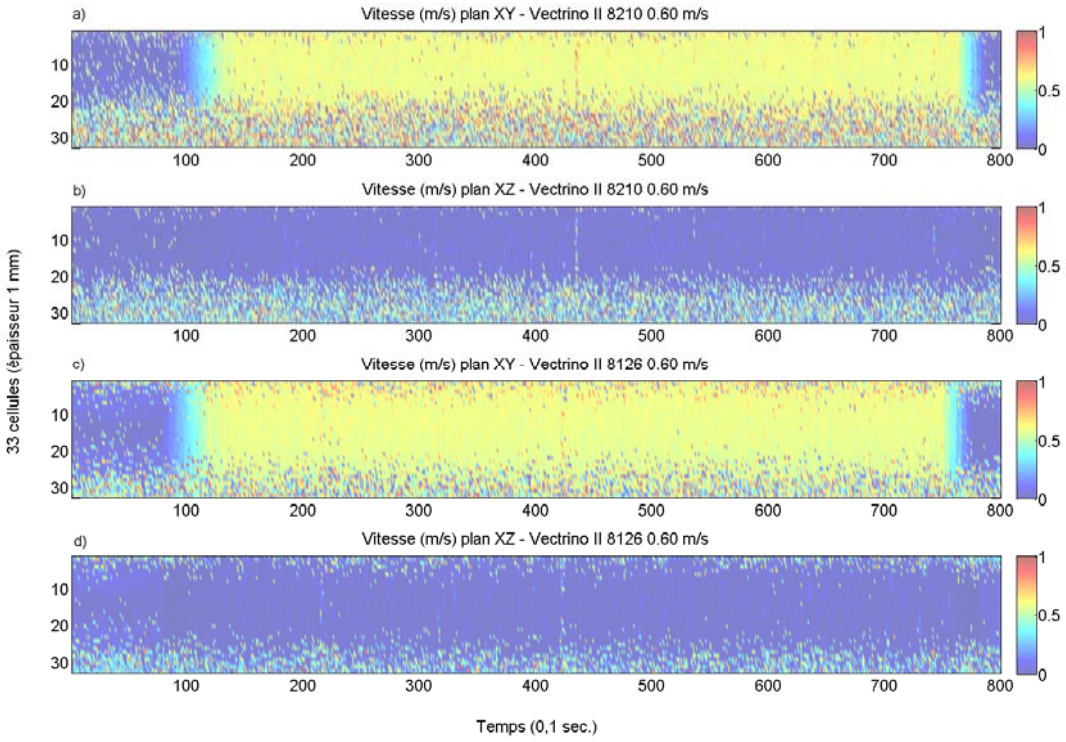


Figure 21. Vitesses des appareils Vectrino II se déplaçant le long du canal dans le plan XY, parallèles à l'axe des Y, à 0,60 m s^{-1}. Les normes des vecteurs dans le plan XY (0,60 m s^{-1}) en a) et c) et dans le plan XZ (vitesse nulle) en b) et d) des appareils 8210 et 8126 sont illustrées.

Il est intéressant de comparer les séries a) avec les séries c) des Figure 16 à Figure 21 qui mesurent en fait le déplacement des appareils dans la direction de l'axe des Y le long du canal (pour cette expérience-ci seulement). Le déplacement est donc nul dans le plan XZ ce qui permet d'avoir une idée du bruit de fond de l'appareil pour ce type de mesure. A priori, il ne semble pas y avoir de décalage majeur entre les deux appareils ce qui confirme que les séries de données sont directement comparables. Cependant, on voit que la qualité des données est meilleure plus la vitesse de courant est grande. Il demeure quand même que les dernières cellules semblent moins précises. Il est possible que la faible turbidité diminue la qualité des données vu qu'il s'agit d'un appareil acoustique.

Les valeurs de SNR peuvent également être utilisées pour déterminer la qualité des valeurs mesurées. Il est, certain que la qualité augmente plus le courant mesuré est fort, la valeur SNR étant proportionnelle au ratio signal/bruit. Les données des tableaux suivants, associées aux figures de l'expérience 2 (section

Tableau 15. Expérience 3 : Temps que mettent les vagues à parcourir la distance (10 mètres) entre la station 1 et 3 (t1), la station 3 et 5 (t2) et la station 5 et 7 (t3), vitesse de groupe moyenne ($C_{g\,moy}$) et comparaison avec les vitesses théoriques de phase (C) de Fenton & McKee (1990)et la vitesse de groupe (C_g) (Équation **5**).

T	t1	t2	t3	$C_{g\ moy\ Expérience\ 3}$	$C_{g\ moy\ Expérience\ 2}$	C	C_g
(s)	(s)	(s)	(s)	(m/s)	(m/s)	(m/s)	(m/s)
Niveau 2,5 m							
Vague 0,5 m							
10	2	2	2	5,0	4,8	4,9	4,8
Vague 1 m							
10	2	2	2	5,0	4,9	4,9	4,8
Vague 1,5 m							
6	2,1	2,1	2,1	4,8	5,1	4,8	4,4
Niveau 3 m							
Vague 0,5 m							
12	2	2	2	5,0	-	-	-
Vague 1 m							
12	1,9	1,9	1,9	5,3	5,4	5,4	5,2
Vague 1,5 m							
8	1,9	1,8	1,9	5,4	5,4	5,3	5
Niveau 3,5 m							
Vague 0,5 m							
12	1,8	1,9	2	5,3	5,2	5,8	5,6
Vague 1 m							
12	1,8	1,8	1,8	5,6	5,8	5,8	5,6
Vague 1,5 m							
8	1,8	1,8	1,8	5,6	5,5	5,7	5,3

5.2 Expérience 2), permettent d'établir un bon comparatif entre les appareils Vectrino I et II.

Tableau 6. Test de qualité des appareils Vectrino II - profondeur d'eau de 2,5 mètres : V moy est la vitesse moyenne, V SD est la déviation standard des vitesses mesurées, SNR est l'expression du signal-to-noise ratio (Équation 11), S/N est le ratio du signal et du bruit et ce, dans la direction de x, y et z en fonction de la période (P). Le N indique la longueur de la série de données.

	T	N	V_x moy	V_y moy	V_z moy	V_x SD	V_y SD	V_z SD	SNR_x	SNR_y	SNR_z	S/N_x	S/N_y	S/N_z
	(s)		(m/s)	(m/s)	(m/s)									
Niveau (d) 2,5 m														
Vague (H) 0,5 m														
	1,5	2000												
St. 1 bas			-0,03	-0,03	0	0	0	0	14,39	14,64	13,62	5,24	5,4	4,8
St. 3 bas			-0,02	-0,03	0	0,01	0	0	11,35	10,98	10,94	3,69	3,54	3,52
	2	2700												
St. 1 bas			-0,03	-0,04	0	0	0	0	10,79	10,97	9,44	3,46	3,54	2,96
St. 3 bas			-0,01	-0,05	0	0	0,01	0	10,07	10,07	9,88	3,19	3,19	3,12
	4	3000												
St. 1 bas			0	-0,01	0	0,01	0,01	0,01	11,62	11,74	10,23	3,81	3,86	3,25
St. 3 bas			-0,01	0	0	0,01	0,01	0	9,79	9,79	9,64	3,09	3,09	3,03
	6	1500												
St. 1 bas			-0,01	0	0	0,01	0,01	0	8,85	9,22	7,69	2,77	2,89	2,42
St. 3 bas			-0,01	0	0	0	0	0	10,56	10,58	10,34	3,37	3,38	3,29
	8	3500												
St. 1 bas														
St. 3 bas			-0,02	-0,01	0	0,05	0,07	0,03	10,91	10,47	11,12	3,51	3,34	3,6
	10	2000												
St. 1 bas			-0,02	0	0	0,01	0,01	0,01	13,24	13,28	11,95	4,59	4,61	3,96
St. 3 bas			-0,03	0	0	0,04	0,08	0,03	10,04	9,61	9,21	3,18	3,02	2,89
Vague (H) 1 m														
	2	3000												
St. 1 bas			-0,05	-0,03	0	0	0,01	0	11,32	11,39	10,24	3,68	3,71	3,25
St. 3 bas			-0,04	-0,04	0	0,08	0,09	0,03	9,13	8,59	8,39	2,86	2,69	2,63
	4	3500												
St. 1 bas			0,01	0	0	0,02	0,01	0,02	12,43	12,49	11,24	4,18	4,21	3,65
St. 3 bas			0	-0,03	0	0,05	0,09	0,03	9,41	8,97	8,52	2,95	2,81	2,67
	6	3000												
St. 1 bas			-0,2	0	0	0,02	0,01	0,01	16,31	16,29	14,79	6,54	6,52	5,49
St. 3 bas			0	0	0	0,01	0,04	0,02	15,9	15,5	15,94	6,24	5,96	6,27
	8	3000												
St. 1 bas														
St. 3 bas			-0,07	-0,01	0	0,01	0,07	0,03	12,95	12,62	13,13	4,44	4,27	4,53
	10	2000												
St. 1 bas			-0,04	0	0	0,02	0,06	0,02	16,71	16,88	15,27	6,85	6,98	5,8
St. 3 bas			-0,06	-0,01	0	0,01	0,07	0,03	14,38	14,27	14,87	5,23	5,17	5,54
Vague (H) 1,5 m														
	6	3000												
St. 1 bas			-0,11	-0,09	0	0,01	0	0	30,51	30,47	28,83	33,55	33,38	27,65
St. 3 bas			-0,03	-0,12	0	0,01	0	0	31,18	30,38	29,8	36,21	33,03	30,92

Tableau 7. Test de qualité des appareils Vectrino II - profondeur d'eau de 3 mètres : V moy est la vitesse moyenne, V SD est la déviation standard des vitesses mesurées, SNR est l'expression du signal-to-noise ratio (Équation 11), S/N est le ratio du signal et du bruit et ce, dans la direction de x, y et z en fonction de la période (P). Le N indique la longueur de la série de données.

	T	N	V_x moy	V_y moy	V_z moy	V_x SD	V_y SD	V_z SD	SNR_x	SNR_y	SNR_z	S/N_x	S/N_y	S/N_z
			(m/s)	(m/s)	(m/s)									
Niveau (d) 3 m														
Vague (H) 0,5 m														
	1,5	2000												
St. 1 bas			-0,04	0,01	0	0	0	0	35,01	35,29	32,74	56,28	58,14	43,33
St. 3 bas			-0,04	0	0	0	0	0	33,12	31,86	31,01	45,31	39,17	35,53
	2	3000												
St. 1 bas			-0,03	0	0	0	0,01	0	31	31,02	28,45	35,48	35,58	26,47
St. 3 bas			-0,02	-0,02	0	0	0	0	29,83	29,13	28,86	31,02	28,61	27,74
	4	2000												
St. 1 bas			0	-0,01	0	0	0	0	43,3	43,8	41,48	146,19	154,84	118,59
St. 3 bas			0	0	0	0	0	0	40,34	39,66	39,39	103,98	96,18	93,17
	6	3000												
St. 1 bas			-0,01	0	0	0	0	0	47,99	48,67	46,44	251,01	271,47	209,83
St. 3 bas			-0,01	0	0	0	0	0	47,73	46,91	46,6	243,55	221,66	213,75
	10	3500												
St. 1 bas														
St. 3 bas			-0,03	0	0	0,01	0	0	47,94	47,07	46,81	249,37	225,65	219,05
Vague (H) 1 m														
	4	3000												
St. 1 bas			0,02	-0,01	0	0,01	0	0	53,02	53,07	51,45	447,51	450,08	373,51
St. 3 bas			-0,01	-0,01	-0,01	0,01	0	0	49,77	48,9	48,64	308,03	278,56	270,24
	6	3000												
St. 1 bas			0	0	-0,01	0,01	0	0	49,97	50,2	48,13	315,09	323,45	254,84
St. 3 bas			-0,03	0	-0,01	0,02	0	0,01	53,43	52,56	52,26	469,27	424,46	410,39
	8	4000												
St. 1 bas			-0,05	0,01	-0,01	0,02	0	0						
St. 3 bas			-0,21	-0,01	0,02	0,04	0	0,01	53,26	52,38	52,1	460,44	415,83	402,8
	10	2000												
St. 1 bas			-0,03	0	-0,01	0,03	0	0,01	45,92	45,88	43,69	197,63	196,81	153,02
St. 3 bas			-0,08	0	0	0,02	0	0,01	54,25	54,11	54,07	515,61	507,6	505,01
	12	3500												
St. 1 bas			-0,02	0	-0,01	0,02	0,01	0	27,95	28,24	25,35	24,96	25,82	18,52
St. 3 bas			-0,02	-0,01	-0,01	0,02	0,01	0,01	38,93	38,62	37,92	88,38	85,36	78,72
Vague (H) 1,5 m														
	6	1250												
St. 1 bas			-0,03	0	-0,01	0,02	0,01	0,01	47,99	47,89	45,78	250,89	248	194,48
St. 3 bas			0	-0,01	-0,01	0,03	0,01	0,01	39,23	38,68	38,56	91,47	85,88	84,69
	8	1500												
St. 1 bas			-0,07	0,01	-0,01	0,05	0,01	0,03	47,58	47,48	45,41	239,24	236,71	186,44
St. 3 bas			-0,1	-0,02	-0,01	0,01	0,01	0,02	44,88	44,06	43,78	175,33	159,59	154,54

Tableau 8. Test de qualité des appareils Vectrino II - profondeur d'eau de 3,5 mètres : V moy est la vitesse moyenne, V SD est la déviation standard des vitesses mesurées, SNR est l'expression du signal-to-noise ratio (Équation 11), S/N est le ratio du signal et du bruit et ce, dans la direction de x, y et z en fonction de la période (P). Le N indique la longueur de la série de données.

	T	N	V_x moy	V_y moy	V_z moy	V_x SD	V_y SD	V_z SD	SNR_x	SNR_y	SNR_z	S/N_x	S/N_y	S/N_z
			(m/s)	(m/s)	(m/s)									
Niveau (d) 3,5 m														
Vague (H) 0,5 m														
	1,5	1000												
st. 1 bas			-0,01	0	0	0,08	0,12	0,02	12,69	12,61	10,99	4,31	4,27	3,54
st. 3 bas			-0,02	0,01	0	0,02	0,02	0,01	16,64	16,31	16,58	6,79	6,54	6,74
	2	2000												
st. 1 bas			-0,02	0	0	0,03	0,04	0,01	16,6	16,35	14,29	6,76	6,57	5,19
st. 3 bas			-0,02	0	0	0,01	0,01	0	17,99	17,7	17,83	7,94	7,67	7,79
	4	3000												
st. 1 bas			0	0	0	0,01	0,03	0,01	12,32	12,33	11,14	4,13	4,13	3,61
st. 3 bas			0	0	0	0,01	0	0,01	14,91	14,29	14,81	5,56	5,18	5,5
	6	3000												
st. 1 bas			0	0	0	0,01	0,03	0,01	13,46	13,4	12,26	4,71	4,68	4,1
st. 3 bas			-0,03	0	0	0,01	0,01	0	15,93	15,34	15,86	6,26	5,85	6,21
	8	5000												
st. 1 bas			-0,01	0	0	0,01	0,03	0,01	12,21	12,36	10,83	4,08	4,15	3,48
st. 3 bas			-0,08	0	0	0,01	0,01	0	13,21	12,64	13,24	4,58	4,29	4,59
	10	4000												
st. 1 bas			-0,01	0	0	0,01	0,05	0,01	11,65	11,78	10,31	3,82	3,88	3,28
st. 3 bas			-0,07	0	0	0,01	0,01	0	13,15	12,62	13,22	4,54	4,27	4,58
	12	3000												
st. 1 bas			-0,01	0	0	0,01	0	0,01	25,73	25,75	23,82	19,33	19,38	15,53
st. 3 bas			-0,01	0	0	0	0	0	32,71	32,19	32,1	43,21	40,67	40,27
Vague (H) 1 m														
	2	2000												
st. 1 bas			-0,03	-0,04	0	0	0	0	10,46	10,81	9,04	3,34	3,47	2,83
st. 3 bas														
	4	2500												
st. 1 bas			0,01	-0,01	0	0,01	0,01	0,01	22,08	21,93	20,34	12,7	12,49	10,4
st. 3 bas			0	-0,01	0	0	0,01	0,01	17,99	17,43	17,89	7,93	7,44	7,84
	6	1500												
st. 1 bas			-0,01	0	0	0,01	0,02	0,01	29,58	29,72	27,88	30,13	30,63	24,78
st. 3 bas			-0,01	0	0	0,01	0,01	0	25,17	24,77	24,45	18,13	17,32	16,69
	10	1500												
st. 1 bas			-0,02	0	-0,01	0,02	0,01	0	38,69	38,79	36,79	85,96	87,02	69,12
st. 3 bas			-0,04	0	-0,01	0,02	0	0	49,85	49,34	49,17	310,81	292,95	287,55
	12	3500												
st. 1 bas			-0,02	0	-0,01	0,02	0,01	0	29,48	29,52	27,58	29,8	29,93	23,95
st. 3 bas			-0,02	0	-0,01	0,02	0	0	45,25	44,85	44,81	183,1	174,83	173,99
Vague (H) 1,5 m														
	4	3500												
st. 1 bas			0	0	-0,01	0,01	0,02	0,02	30,92	31,07	29,24	35,16	35,77	28,96
st. 3 bas			0	-0,03	0	0	0,01	0,01	26,19	26,16	25,63	20,4	20,33	19,11
	6	5000												
st. 1 bas			0,01	0	-0,01	0	0,02	0,01	45,37	45,63	43,38	185,58	191,24	147,61
st. 3 bas														
	8	3500												
st. 1 bas			-0,05	0	-0,01	0,01	0,02	0,02	37,35	37,5	35,46	73,71	74,96	59,26
st. 3 bas			-0,11	0	0	0,03	0,01	0,01	47,51	47,08	46,8	237,29	226,01	218,66

Tableau 9. Test de qualité des appareils Vectrino II - sans vague avec le maximum de courant généré par l'installation : V moy est la vitesse moyenne, V SD est la déviation standard des vitesses mesurées, SNR est l'expression du signal-to-noise ratio (Équation 11), S/N est le ratio du signal et du bruit et ce, dans la direction de x, y et z en fonction de la période (P). Le N indique la longueur de la série de données.

	n	V_x moy	V_y moy	V_z moy	V_x SD	V_y SD	V_z SD	SNR_x	SNR_y	SNR_z	S/N_x	S/N_y	S/N_z
		(m/s)	(m/s)	(m/s)									
Maximum de courant													
Niveau 1m :													
st. 1 bas st. 3 bas	2000	0,09	-0,02	0	0,01	0	0	31,92	31,91	29,93	39,44	39,4	31,37
Niveau 1,5 m :													
st. 1 bas st. 3 bas	2000	0,09	-0,01	0	0	0	0	30,06	30,02	28,14	31,86	31,69	25,53
Niveau 2 m :													
st. 1 bas st. 3 bas	2000	0,11	-0,01	0	0	0	0	30,8	30,78	28,81	34,66	34,58	27,57
Niveau 3 m :													
st. 1 bas	2000	0,12	0	-0,01	0	0	0	37,26	37,21	37,64	72,98	72,55	76,25
st. 3 bas		0,12	0	-0,01	0	0	0	37,26	37,21	37,64	72,98	72,55	76,25
Niveau 3,5 m :													
st. 1 bas st. 3 bas	2000	0,11	-0,02	0	0	0	0	34,33	34,49	32,59	52,03	53,01	42,59

Il y a une tendance à ce que les valeurs SNR augmentent en fonction de hauteur de vague (H) et de la période (T), ce qui est normal compte tenu que les valeurs de courant augmentent (section

Tableau 15. Expérience 3 : Temps que mettent les vagues à parcourir la distance (10 mètres) entre la station 1 et 3 (t1), la station 3 et 5 (t2) et la station 5 et 7 (t3), vitesse de groupe moyenne ($C_{g\,moy}$) et comparaison avec les vitesses théoriques de phase (C) de Fenton & McKee (1990)et la vitesse de groupe (C_g) (Équation **5**).

T	t1	t2	t3	$C_{g\ moy\ Expérience\ 3}$	$C_{g\ moy\ Expérience\ 2}$	C	C_g
(s)	(s)	(s)	(s)	(m/s)	(m/s)	(m/s)	(m/s)
Niveau 2,5 m							
Vague 0,5 m							
10	2	2	2	5,0	4,8	4,9	4,8
Vague 1 m							
10	2	2	2	5,0	4,9	4,9	4,8
Vague 1,5 m							
6	2,1	2,1	2,1	4,8	5,1	4,8	4,4
Niveau 3 m							
Vague 0,5 m							
12	2	2	2	5,0	-	-	-
Vague 1 m							
12	1,9	1,9	1,9	5,3	5,4	5,4	5,2
Vague 1,5 m							
8	1,9	1,8	1,9	5,4	5,4	5,3	5
Niveau 3,5 m							
Vague 0,5 m							
12	1,8	1,9	2	5,3	5,2	5,8	5,6
Vague 1 m							
12	1,8	1,8	1,8	5,6	5,8	5,8	5,6
Vague 1,5 m							
8	1,8	1,8	1,8	5,6	5,5	5,7	5,3

5.2 Expérience 2). La profondeur d'eau (d) ne semble pas avoir autant d'effet. Il ne faut pas oublier que la turbidité de l'eau serait un paramètre très intéressant à ajouter dans l'interprétation des données SNR. Les valeurs de SNR des Vectrino II sont quand même très bonnes, car généralement très élevées, de sorte que le ratio signal/bruit varie entre environ 2 et 500. Il ne semble pas y avoir de différence majeure quand à la composante directionnelle mesurée (X, Y et Z).

Pour ce qui est de la vitesse moyenne, il est normal que la résultante du courant en X soit légèrement négative (sauf Tableau 9); c'est en fait que l'accélération le long de l'orbitale aplatie (trajectoire rectiligne) n'est pas constante. Il y a plus de données échantillonnées quand les particules reculent et moins quand les particules avancent au passage relativement rapide de la vague. Pour l'axe Y et Z, il pourrait également y avoir une résultante non nulle de courant si l'appareil n'est pas exactement aligné avec les axes du canal ou qu'il y a de la turbulence. Au Tableau 9, pour un courant continu sans vague, on voit en effet que l'appareil pourrait être légèrement en angle avec le courant surtout par rapport à l'axe des Y. Somme toute, il est intéressant de voir que le courant moyen au fond du canal, sans vague, peut atteindre 0,12 m s^{-1}.

5.1.2 Vectrino I [3]

Tableau 10. Test de qualité des appareils Vectrino I - profondeur d'eau de 2,5 mètres : V moy est la vitesse moyenne, V SD est la déviation standard des vitesses mesurées, SNR est l'expression du signal-to-noise ratio (Équation 11), S/N est le ratio du signal et du bruit et ce, dans la direction de x, y et z en fonction de la période (T). Les longueurs des séries de données (N) sont les mêmes que pour les Vectrino II (tableaux précédents). La profondeur de l'appareil par rapport au niveau d'eau (d) est dénotée par z.

	z	V_x moy (m/s)	V_y moy (m/s)	V_z moy (m/s)	V_x SD	V_y SD	V_z SD	SNR_x	SNR_y	SNR_z	S/N_x	S/N_y	S/N_z
Niveau (d) 2,5 m													
Vague (H) 0,5 m													
T = 1,5 s													
St.1 bas	-1,5	-0,02	0	0,01	0,13	0,18	0,04	3,2	4,5	2,2	1,4	1,7	1,3
St.1 haut	-0,8	0	0	-0,01	0,21	0,22	0,06	16,1	17,9	15,9	6,4	7,8	6,3
St. 3 bas	-1,5	-0,02	-0,01	0,01	0,1	0,08	0,04	-6,7	-5,9	-5,7	0,5	0,5	0,5
St. 3 haut	-0,8	-0,03	0	0,01	0,12	0,03	0,1	4,7	7	5,7	1,7	2,2	1,9
St. 5 bas	-1,7	0,03	0,01	0,01	0,03	0,02	0,02	8,5	10,2	6,4	2,7	3,2	2,1
St. 5 haut	-0,8	-0,01	0	0,01	0,12	0,02	0,13	9,6	10,3	9	3	3,3	2,8
St. 7 bas	-1,7	-0,03	-0,01	0,01	0,04	0,03	0,02	5,1	4,8	3,7	1,8	1,7	1,5
St. 7 haut	-1,2	-0,02	0	0,02	0,07	0,03	0,05	5,5	6,6	4,2	1,9	2,1	1,6
T = 2 s													
St.1 bas	-1,5	-0,1	-0,05	-0,03	0,38	0,39	0,1	-0,6	-1,9	-1,5	0,9	0,8	0,8
St.1 haut	-0,8												
St. 3 bas	-1,5	-0,04	0	0,01	0,12	0,03	0,08	5,5	7,4	5,4	1,9	2,4	1,9
St. 3 haut	-0,8	0,02	-0,01	-0,01	0,39	0,21	0,15	7,4	8,8	7,5	2,3	2,7	2,4
St. 5 bas	-1,7	0,02	0,02	0,01	0,1	0,02	0,06	8,1	9,7	6	2,5	3,1	2
St. 5 haut	-0,8	-0,03	-0,02	-0,02	0,22	0,01	0,21	7,7	8,4	7,2	2,4	2,6	2,3
St. 7 bas	-1,7	-0,02	-0,02	0,01	0,1	0,04	0,06	4,3	4,3	2,9	1,6	1,6	1,4
St. 7 haut	-1,2	-0,02	-0,01	0,02	0,16	0,03	0,11	5,5	6,6	4,1	1,9	2,1	1,6
T = 4 s													
St.1 bas	-1,5	-0,02	0,01	0,01	0,2	0,11	0,06	3,1	4,5	1,9	1,4	1,7	1,2
St.1 haut	-0,8												
St. 3 bas	-1,5	0	0,01	0,01	0,19	0,07	0,06	4	5,8	4	1,6	1,9	1,6
St. 3 haut	-0,8	-0,02	0,01	0,02	0,22	0,03	0,11	5,1	7,1	5,2	1,8	2,3	1,8
St. 5 bas	-1,7	0,01	0	0,02	0,18	0,03	0,05	7,9	9,5	5,9	2,5	3	2
St. 5 haut	-0,8	-0,01	-0,01	0	0,22	0,01	0,15	6,5	7	5,7	2,1	2,2	1,9
St. 7 bas	-1,7	0,01	0	0	0,19	0,04	0,05	4	3,8	2,3	1,6	1,6	1,3
St. 7 haut	-1,2	-0,01	0,02	0,04	0,24	0,08	0,08	5	6,6	3,6	1,8	2,1	1,5
T = 6 s													
St.1 bas	-1,5	-0,1	-0,03	-0,03	0,4	0,41	0,1	-0,9	-2,2	-1,7	0,9	0,8	0,8
St.1 haut	-0,8												
St. 3 bas	-1,5	0,01	0,02	0	0,27	0,08	0,06	1,5	2,8	1,6	1,2	1,4	1,2
St. 3 haut	-0,8	-0,05	0,01	0	0,27	0,04	0,1	3,9	5,6	4,2	1,6	1,9	1,6
St. 5 bas	-1,7	0	0,01	0,01	0,24	0,04	0,04	3,9	5,7	2,6	1,6	1,9	1,3
St. 5 haut	-0,8	-0,03	-0,01	0	0,27	0,01	0,12	5,2	5,7	4,4	1,8	1,9	1,7
St. 7 bas	-1,7	0	-0,01	0,01	0,29	0,05	0,04	1,7	1,5	0	1,2	1,2	1
St. 7 haut	-1,2	-0,02	0,06	0,03	0,34	0,09	0,07	3,3	4,9	1,9	1,5	1,8	1,3

[3] Les axes pour le Vectrino I de la St. 5 bas (8204) n'ont pas été ajustés au référentiel du canal (données brutes)

T = 8 s													
St.1 bas	-1,5	-0,01	0,01	0	0,26	0,34	0,04	3,1	2,6	1,8	1,4	1,3	1,2
St.1 haut	-0,8												
St. 3 bas	-1,5	0	0,01	0	0,28	0,15	0,06	2,9	3,6	2	1,4	1,5	1,3
St. 5 bas	-1,7	-0,01	0	0,01	0,26	0,04	0,03	9,2	10,3	8,1	2,9	3,3	2,6
St. 5 haut	-0,8	-0,01	-0,01	0	0,28	0,01	0,09	5,2	5	4,4	1,8	1,8	1,7
St. 7 bas	-1,7	0,01	0	0,01	0,26	0,06	0,04	4	3,1	2,2	1,6	1,4	1,3
St. 7 haut	-1,2	-0,03	0,05	0,03	0,29	0,06	0,06	5,8	6,9	4,9	1,9	2,2	1,7
T = 10 s													
St.1 bas	-1,5	-0,02	0,01	0	0,28	0,3	0,03	3,7	3,2	2,3	1,5	1,5	1,3
St.1 haut	-0,8												
St. 3 bas	-1,5	0	0,01	0	0,3	0,16	0,05	4,2	4,6	3,4	1,6	1,7	1,5
St. 3 haut	-0,8												
St. 5 bas	-1,7	0	0	0,01	0,27	0,04	0,03	7,9	8,9	6,6	2,5	2,8	2,1
St. 5 haut	-0,8	-0,01	-0,01	0	0,28	0,01	0,08	6	5,9	5,4	2	2	1,9
St. 7 bas	-1,7	0	0	0,01	0,29	0,05	0,03	5,3	4,4	3,4	1,8	1,7	1,5
St. 7 haut	-1,2	-0,04	0,07	0,02	0,33	0,06	0,06	7,6	8,6	6,5	2,4	2,7	2,1
Vague (H) 1 m													
T = 2 s													
St.1 bas	-1,5	-0,02	0,01	0	0,18	0,22	0,1	6,1	5,9	4,2	2	2	1,6
St.1 haut	-0,8												
St. 3 bas	-1,5	-0,04	0,03	0	0,18	0,08	0,11	4	4,2	2,8	1,6	1,6	1,4
St. 3 haut	-0,8	-0,04	0,05	0,01	0,31	0,05	0,24	-7,1	-4,5	-6,7	0,4	0,6	0,5
St. 5 bas	-1,7	0,03	0	0,01	0,15	0,04	0,08	10,8	11,8	9,6	3,5	3,9	3
St. 5 haut	-0,8	-0,04	-0,02	0	0,31	0,03	0,29	8,7	8,7	7,9	2,7	2,7	2,5
St. 7 bas	-1,7	-0,05	0	0,02	0,15	0,05	0,08	7,7	6,7	5,6	2,4	2,2	1,9
St. 7 haut	-1,2	-0,03	0,04	0,03	0,24	0,08	0,14	9,6	10,2	8,1	3	3,2	2,5
T = 4 s													
St.1 bas	-1,5	-0,04	0,02	0,01	0,4	0,21	0,12	4,3	4	2,9	1,6	1,6	1,4
St.1 haut	-0,8												
St. 3 bas	-1,5	-0,01	0,02	0,01	0,34	0,09	0,12	5,2	5,7	4,3	1,8	1,9	1,6
St. 3 haut	-0,8	-0,05	0,03	0	0,41	0,11	0,22	-6,7	-4,1	-6,2	0,5	0,6	0,5
St. 5 bas	-1,7	0,03	0,01	0,01	0,36	0,06	0,09	9,5	10,6	8,2	3	3,4	2,6
St. 5 haut	-0,8	-0,05	-0,02	-0,01	0,42	0,04	0,29	7,2	7,2	6,7	2,3	2,3	2,2
St. 7 bas	-1,7	-0,03	-0,01	0,01	0,34	0,06	0,09	7,4	6,5	5,5	2,3	2,1	1,9
St. 7 haut	-1,2	-0,07	0,06	0,04	0,4	0,08	0,14	8,9	9,9	7,8	2,8	3,1	2,5
T = 6 s													
St.1 bas	-1,5	-0,01	0,04	0	0,47	0,33	0,1	2,1	3,8	1,5	1,3	1,6	1,2
St.1 haut	-0,8												
St. 3 bas	-1,5	-0,05	0,03	0	0,52	0,17	0,11	-0,7	1,5	-0,8	0,9	1,2	0,9
St. 3 haut	-0,8	-0,03	0,02	0	0,49	0,06	0,17	4,2	5,2	3,1	1,6	1,8	1,4
St. 5 bas	-1,7	0,06	0,02	0,02	0,47	0,07	0,07	5,3	5,7	2,3	1,8	1,9	1,3
St. 5 haut	-0,8	-0,04	-0,01	0	0,49	0,02	0,22	3,3	3,1	1,9	1,5	1,4	1,2
St. 7 bas	-1,7	-0,05	0	0,02	0,52	0,07	0,07	3,1	3	0,8	1,4	1,4	1,1
St. 7 haut	-1,2	-0,05	0,09	0,03	0,59	0,08	0,12	3	4	1,5	1,4	1,6	1,2

T = 8 s													
St.1 bas	-1,5	0,01	0,01	0,01	0,49	0,29	0,1	2,6	3,8	2,3	1,4	1,5	1,3
St.1 haut	-0,8												
St. 3 bas	-1,5												
St. 3 haut	-0,8	-0,04	0,01	0	0,46	0,15	0,1	0,2	2,6	0,8	1	1,4	1,1
St. 5 bas	-1,7	0,01	-0,01	0	0,45	0,06	0,08	6,6	7	3,7	2,1	2,2	1,5
St. 5 haut	-0,8	-0,05	-0,01	0,02	0,49	0,03	0,21	7,6	7,7	6,4	2,4	2,4	2,1
St. 7 bas	-1,7	0,02	0,02	0	0,45	0,06	0,08	3,9	3,7	1,6	1,6	1,5	1,2
St. 7 haut	-1,2	-0,05	0,09	0,02	0,51	0,08	0,13	4,4	5,3	2,8	1,7	1,8	1,4
T = 10 s													
St.1 bas	-1,5	-0,02	0,03	-0,01	0,34	0,54	0,07	2,7	3,8	1,9	1,4	1,5	1,2
St.1 haut	-0,8	-0,11	-0,13	0	1,32	1,23	0,35	18	19,7	16,5	8	9,6	6,7
St. 3 bas	-1,5												
St. 3 haut	-0,8	-0,03	0	0	0,48	0,04	0,15	0,6	2,8	0,2	1,1	1,4	1
St. 5 bas	-1,7	0,01	0	0,01	0,45	0,06	0,06	6,2	8,3	4,4	2	2,6	1,7
St. 5 haut	-0,8	-0,04	-0,01	0,01	0,49	0,03	0,19	5,8	5,8	4,2	1,9	2	1,6
St. 7 bas	-1,7	-0,02	0,02	0,01	0,47	0,11	0,08	5,2	5	4,2	1,8	1,8	1,6
St. 7 haut	-1,2	-0,05	0,1	0,02	0,52	0,08	0,12	6,3	7,4	4,7	2,1	2,4	1,7
Vague (H) 1,5 m													
T = 6 s													
St.1 bas	-1,5	-0,17	-0,01	0,05	0,46	0,08	0,12	20,4	21,3	18,9	10,5	11,6	8,8
St.1 haut	-0,8												
St. 3 bas	-1,5	-0,13	-0,01	0,07	0,43	0,06	0,11	7,7	8,1	8,1	2,4	2,5	2,5
St. 3 haut	-0,8	-0,17	0,01	0,06	0,47	0,06	0,19	21,8	21,6	20,6	12,3	12	10,7
St. 5 bas	-1,7	0,09	-0,02	0,06	0,4	0,08	0,08	21,8	22,1	20,4	12,2	12,7	10,4
St. 5 haut	-0,8	-0,03	0,02	-0,02	0,43	0,05	0,22	21,2	22,6	20,8	11,4	13,5	10,9
St. 7 bas	-1,7	-0,01	-0,01	0,01	0,49	0,05	0,08	18,9	19,4	18,6	8,8	9,3	8,5
St. 7 haut	-1,2	-0,04	0,08	0,02	0,56	0,07	0,15	18,5	18,5	17,5	8,4	8,4	7,5

Tableau 11. Test de qualité des appareils Vectrino I - profondeur d'eau de 3 mètres : V moy est la vitesse moyenne, V SD est la déviation standard des vitesses mesurées, SNR est l'expression du signal-to-noise ratio (Équation 11), S/N est le ratio du signal et du bruit et ce, dans la direction de x, y et z en fonction de la période (T). Les longueurs des séries de données (N) sont les mêmes que pour les Vectrino II (tableaux précédents). La profondeur de l'appareil par rapport au niveau d'eau (d) est dénotée par z.

	z	V_x moy (m/s)	V_y moy (m/s)	V_z moy (m/s)	V_x SD	V_y SD	V_z SD	SNR_x	SNR_y	SNR_z	S/N_x	S/N_y	S/N_z
Niveau 3 m													
Vague (H) 0,5 m													
T = 1,5 s													
St.1 bas	-2	-0,03	0	0	0,02	0,01	0,01	22,2	23,2	20,4	12,9	14,5	10,5
St.1 haut	-1,3	-0,03	0	-0,01	0,41	0,26	0,1	-0,7	1,1	-1,8	0,9	1,1	0,8
St. 3 bas	-2	-0,03	0	0	0,02	0,01	0,01	19,9	21,9	19,7	9,9	12,5	9,7
St. 3 haut	-1,3	-0,01	0	0	0,05	0,01	0,04	22,5	22,7	21,3	13,4	13,7	11,6
St. 5 bas	-2,2	0,04	0,01	0	0,01	0,01	0,01	22,9	23,1	21,6	14	14,4	12
St. 5 haut	-1,3	0	-0,01	-0,01	0,05	0,01	0,05	21,5	22,6	20,6	11,8	13,5	10,8
St. 7 bas	-2,2	-0,04	0	0	0,01	0,01	0,01	21,1	21,7	20,5	11,4	12,1	10,5
St. 7 haut	-1,7	-0,03	0	0	0,03	0,01	0,02	20,2	20,6	19,4	10,3	10,7	9,3
T = 2 s													
St.1 bas	-2	-0,03	0	0	0,08	0,01	0,05	20,2	21,2	18,1	10,3	11,5	8,1
St.1 haut	-1,3	-0,06	0	-0,14	1,24	1,18	0,34	13,4	15,2	12,1	4,7	5,8	4
St. 3 bas	-2	-0,03	-0,01	0	0,08	0,01	0,05	18,8	21,1	18,5	8,7	11,3	8,4
St. 3 haut	-1,3	-0,03	0,01	0	0,16	0,02	0,11	21,4	22,1	20,2	11,7	12,7	10,2
St. 5 bas	-2,2	0,03	0,01	0	0,07	0,01	0,04	22,6	22,9	21,2	13,5	14	11,4
St. 5 haut	-1,3	-0,01	-0,01	0	0,15	0,01	0,14	21	22	20	11,2	12,6	10
St. 7 bas	-2,2	-0,01	-0,01	0	0,07	0,01	0,04	21,7	22,3	21,1	12,1	13	11,4
St. 7 haut	-1,7	-0,01	-0,01	0,01	0,11	0,01	0,08	20,2	20,6	19,4	10,2	10,7	9,3
T = 4 s													
St.1 bas	-2	0	0,01	0,01	0,22	0,02	0,06	18,3	19,3	16	8,2	9,2	6,3
St.1 haut	-1,3	-0,13	0,04	-0,14	1,3	1,29	0,36	13,7	15,5	12,4	4,8	5,9	4,2
St. 3 bas	-2	0	0,01	0	0,21	0,01	0,06	17,4	19,9	17	7,4	9,9	7,1
St. 3 haut	-1,3	-0,01	0,01	0,01	0,24	0,02	0,1	20	21,1	18,8	10	11,4	8,7
St. 5 bas	-2,2	0,01	0	0	0,21	0,03	0,04	22,2	22,6	20,6	12,8	13,6	10,7
St. 5 haut	-1,3	0	-0,01	0	0,23	0,01	0,12	20,1	20,9	18,8	10,1	11,1	8,7
St. 7 bas	-2,2	0	0	0	0,21	0,01	0,04	21,2	21,8	20,4	11,5	12,3	10,5
St. 7 haut	-1,7	0	0,03	0,05	0,27	0,07	0,08	19,8	20,3	18,8	9,8	10,3	8,7
T = 6 s													
St.1 bas	-2	0,01	0,01	0	0,27	0,02	0,04	17,6	18,6	15,3	7,6	8,6	5,8
St.1 haut	-1,3	-0,07	0,05	-0,12	1,36	1,33	0,38	13,6	15,3	12,3	4,8	5,8	4,1
St. 3 bas	-2	0,01	0,01	0	0,26	0,01	0,05	17,6	20,1	17,2	7,6	10,1	7,3
St. 3 haut	-1,3	-0,01	0,01	0	0,28	0,02	0,08	19,1	20,4	17,8	9	10,5	7,8
St. 5 bas	-2,2	0	0	0	0,24	0,03	0,03	22	22,5	20,4	12,6	13,4	10,5
St. 5 haut	-1,3	-0,02	-0,01	0	0,26	0,01	0,1	19,3	20,1	17,9	9,2	10,1	7,9
St. 7 bas	-2,2	0	0	0,01	0,27	0,01	0,03	21,2	21,9	20,5	11,5	12,4	10,6
St. 7 haut	-1,7	-0,03	0,04	0,03	0,31	0,06	0,05	19,7	20,2	18,6	9,7	10,2	8,6

T = 8 s													
St.1 bas	-2	0,01	0,01	0	0,27	0,02	0,04	16,4	17,5	14	6,6	7,5	5
St.1 haut	-1,3	-0,07	0,02	-0,13	1,35	1,35	0,37	13,3	15	12,1	4,6	5,6	4
St. 3 bas	-2	0,01	0,01	0	0,27	0,01	0,04	16,5	19,1	16,1	6,7	9	6,4
St. 3 haut	-1,3	-0,02	0,01	-0,01	0,28	0,02	0,08	17,6	19,2	16,3	7,6	9,1	6,5
St. 5 bas	-2,2	-0,01	0	0	0,27	0,04	0,03	21,8	22,4	20,2	12,3	13,2	10,2
St. 5 haut	-1,3	-0,01	-0,01	0,01	0,29	0	0,08	18,5	19,1	16,9	8,4	9,1	7
St. 7 bas	-2,2	0,01	-0,01	0	0,25	0,01	0,03	20,9	21,5	20,1	11,1	11,9	10,1
St. 7 haut	-1,7	-0,02	0,04	0,02	0,29	0,05	0,06	19,4	19,9	18,2	9,3	9,9	8,1
T = 10 s													
St.1 bas	-2	0	0,01	-0,01	0,29	0,02	0,03	15,9	17	13,6	6,3	7,1	4,8
St.1 haut	-1,3	-0,05	-0,04	-0,13	1,37	1,38	0,38	13,4	15	12,2	4,7	5,6	4,1
St. 3 bas	-2	0,01	0,01	0	0,26	0,01	0,03	15,4	18,1	15,1	5,9	8	5,7
St. 3 haut	-1,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
St. 5 bas	-2,2	-0,01	0	0	0,25	0,03	0,02	21,3	22	19,6	11,6	12,6	9,5
St. 5 haut	-1,3	-0,02	-0,01	0	0,25	0,01	0,06	18,6	19,3	17,1	8,5	9,2	7,2
St. 7 bas	-2,2	0,02	0	0	0,28	0,01	0,02	20,4	21	19,5	10,5	11,2	9,4
St. 7 haut	-1,7	-0,02	0,05	0,02	0,31	0,06	0,05	19,1	19,7	17,8	9	9,6	7,8
Vague (H) 1 m													
T = 4 s													
St.1 bas	-2	-0,04	0,01	0,02	0,43	0,05	0,13	22	23	20,3	12,7	14,1	10,3
St.1 haut	-1,3	-0,15	0,05	-0,1	1,26	1,28	0,37	14,4	16,1	13,2	5,3	6,4	4,6
St. 3 bas	-2	-0,04	0,02	0	0,43	0,04	0,18	20,8	22,2	20,3	11	12,8	10,4
St. 3 haut	-1,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
St. 5 bas	-2,2	0,04	0,04	0,01	0,41	0,06	0,08	23	23,2	21,7	14,1	14,4	12,2
St. 5 haut	-1,3	-0,04	-0,01	-0,01	0,47	0,02	0,25	21,5	22,7	20,7	11,8	13,6	10,9
St. 7 bas	-2,2	-0,03	0	0,01	0,39	0,04	0,08	22,6	23,3	22,4	13,5	14,6	13,2
St. 7 haut	-1,7	-0,06	0,07	0,04	0,45	0,07	0,13	21,1	21,4	20,9	11,4	11,7	11,2
T = 6 s													
St.1 bas	-2	-0,05	0,01	0	0,47	0,04	0,09	19,9	21,1	18,6	9,9	11,3	8,5
St.1 haut	-1,3	-0,1	-0,01	-0,12	1,3	1,3	0,36	16,5	18,4	16,3	6,7	8,3	6,5
St. 3 bas	-2	-0,04	0,02	0	0,51	0,03	0,15	20,1	21,8	19,7	10,1	12,3	9,6
St. 3 haut	-1,3												
St. 5 bas	-2,2	0,02	0,02	0,01	0,46	0,07	0,06	23	23,2	21,8	14,2	14,5	12,3
St. 5 haut	-1,3	-0,04	-0,01	-0,01	0,48	0,01	0,18	21,5	22,7	20,8	11,9	13,7	11
St. 7 bas	-2,2	-0,01	-0,01	0,01	0,49	0,03	0,06	22,5	23,2	22,3	13,3	14,4	13
St. 7 haut	-1,7	-0,05	0,09	0,03	0,55	0,07	0,1	21	21,3	20,8	11,3	11,6	10,9
T = 8 s													
St.1 bas	-2	-0,02	0	0,01	0,48	0,05	0,08	18,5	19,5	16,4	8,4	9,5	6,6
St.1 haut	-1,3	-0,09	0	-0,11	1,26	1,31	0,35	14,5	16,2	13,3	5,3	6,5	4,6
St. 3 bas	-2	-0,03	0,01	-0,01	0,51	0,04	0,15	18,4	20,4	18	8,3	10,5	7,9
St. 3 haut	-1,3												
St. 5 bas	-2,2	-0,01	0,01	0	0,46	0,07	0,06	22,2	22,7	20,8	12,9	13,6	10,9
St. 5 haut	-1,3	-0,02	-0,02	0,02	0,5	0,02	0,17	18,6	19,3	17,1	8,5	9,2	7,1
St. 7 bas	-2,2	0,02	0,01	0,01	0,45	0,03	0,07	20,8	21,4	20	11	11,8	10
St. 7 haut	-1,7	-0,04	0,09	0,03	0,52	0,06	0,11	19,1	19,7	17,9	9,1	9,6	7,8

T = 10 s													
St.1 bas	-2	-0,03	0,01	0	0,52	0,25	0,07	2,9	4	1,1	1,4	1,6	1,1
St.1 haut	-1,3	-0,16	0,04	-0,13	1,44	1,44	0,38	15,7	16,9	14,8	6,1	7	5,5
St. 3 bas	-2	-0,18	0,01	0,01	0,29	0,09	0,08	10,6	12,4	9,8	3,4	4,2	3,1
St. 3 haut	-1,3	0	0,01	0,01	0,49	0,04	0,11	8,6	11,4	8,5	2,7	3,7	2,7
St. 5 bas	-2,2	0,02	0,01	0,01	0,44	0,06	0,05	15,5	16,3	13,8	5,9	6,6	4,9
St. 5 haut	-1,3	0	-0,01	0	0,47	0,02	0,16	5,6	4,9	4	1,9	1,7	1,6
St. 7 bas	-2,2	-0,01	0	0,01	0,49	0,03	0,06	18,4	19	17,8	8,3	8,9	7,8
St. 7 haut	-1,7	-0,05	0,09	0,03	0,54	0,07	0,09	17,3	17,8	15,5	7,3	7,8	6
T = 12 s													
St.1 bas	-2	-0,03	0	0	0,43	0,07	0,05	7,6	9,4	5,6	2,4	3	1,9
St.1 haut	-1,3	-0,29	0,13	-0,07	1,12	1,19	0,3	0,8	0,8	0,5	1,1	1,1	1,1
St. 3 bas	-2	-0,02	-0,01	0	0,45	0,02	0,06	10,3	12	10,2	3,3	4	3,2
St. 3 haut	-1,3	-0,01	-0,01	0	0,47	0,03	0,09	9,4	11,3	9,2	2,9	3,7	2,9
St. 5 bas	-2,2	0,02	0,01	0	0,46	0,07	0,04	13,9	15,8	11	5	6,2	3,5
St. 5 haut	-1,3	-0,02	0,01	-0,01	0,46	0,02	0,11	11	10,9	9,7	3,6	3,5	3,1
St. 7 bas	-2,2	0	0,01	0	0,43	0,03	0,04	18,3	16,9	16,9	8,2	7	7
St. 7 haut	-1,7	-0,07	0,09	0,03	0,47	0,07	0,08	15,5	16	12,9	6	6,3	4,4
Vague (H) 1,5 m													
T = 6 s													
St.1 bas	-2	-0,04	0,02	0	0,6	0,05	0,12	12,7	14,3	9,8	4,3	5,2	3,1
St.1 haut	-1,3	-0,13	0,03	-0,07	1,52	1,43	0,41	17,5	18,6	16,7	7,5	8,5	6,8
St. 3 bas	-2	-0,03	0	0	0,14	0,06	0,03	17,6	19,6	16,4	7,6	9,5	6,6
St. 3 haut	-1,3	-0,09	0,01	-0,01	0,7	0,05	0,22	14,9	18	14,5	5,5	7,9	5,3
St. 5 bas	-2,2	0,07	0,02	0,01	0,65	0,09	0,1	21,8	22,3	20,1	12,3	13	10,2
St. 5 haut	-1,3	-0,07	-0,01	-0,01	0,69	0,03	0,26	19,8	19,5	18,8	9,7	9,5	8,7
St. 7 bas	-2,2	-0,05	-0,03	0,02	0,68	0,04	0,1	22,2	22,9	21,9	12,9	13,9	12,5
St. 7 haut	-1,7	-0,1	0,11	0,04	0,75	0,08	0,15	21,5	21,8	20,6	11,9	12,3	10,7
T = 8 s													
St.1 bas	-2	-0,06	0,02	0	0,63	0,06	0,13	13,3	14,9	10,4	4,6	5,6	3,3
St.1 haut	-1,3	-0,18	0,05	-0,05	1,4	1,32	0,39	17,4	18,5	16,6	7,4	8,4	6,8
St. 3 bas	-2	-0,04	0	-0,02	0,65	0,04	0,13	19,9	21,7	18,8	9,9	12,2	8,7
St. 3 haut	-1,3	-0,09	0	-0,03	0,68	0,1	0,22	16,7	19,5	16,4	6,8	9,4	6,6
St. 5 bas	-2,2	0,03	-0,01	0	0,58	0,08	0,1	22,6	22,9	21,3	13,5	14	11,6
St. 5 haut	-1,3	-0,09	0	0,02	0,62	0,02	0,25	19,3	19,1	18,2	9,3	9	8,1
St. 7 bas	-2,2	0,01	0,02	0,01	0,56	0,03	0,09	22,3	23	22	13,1	14	12,6
St. 7 haut	-1,7	-0,09	0,11	0,03	0,63	0,08	0,16	21,5	21,8	20,5	11,9	12,3	10,6

Tableau 12. Test de qualité des appareils Vectrino I - profondeur d'eau de 3,5 mètres : V moy est la vitesse moyenne, V SD est la déviation standard des vitesses mesurées, SNR est l'expression du signal-to-noise ratio (Équation 11), S/N est le ratio du signal et du bruit et ce, dans la direction de x, y et z en fonction de la période (T). Les longueurs des séries de données (N) sont les mêmes que pour les Vectrino II (tableaux précédents). La profondeur de l'appareil par rapport au niveau d'eau (d) est dénotée par z.

	z	V_x moy (m/s)	V_y moy (m/s)	V_z moy (m/s)	V_x SD	V_y SD	V_z SD	SNR_x	SNR_y	SNR_z	S/N_x	S/N_y	S/N_z
Niveau 3,5 m													
Vague (H) 0,5 m													
T = 1,5 s													
St.1 bas	-2,5	-0,02	0,02	0	0,2	0,45	0,05	3,1	4,7	1,8	1,4	1,7	1,2
St.1 haut	-1,8	-0,37	-0,02	-0,09	1,17	1,23	0,31	0,2	0,3	-0,2	1	1	1
St. 3 bas	-2,5	-0,01	0	0	0,02	0,05	0,01	6	8,2	5,7	2	2,6	1,9
St. 3 haut	-1,8	-0,01	0	0	0,03	0,01	0,02	5,2	8,5	4,8	1,8	2,7	1,7
St. 5 bas	-2,7	0,01	0	0	0,01	0,01	0	8,3	9,5	5,9	2,6	3	2
St. 5 haut	-1,8	-0,01	0	-0,01	0,06	0,01	0,04	7,3	7,8	5,8	2,3	2,5	2
St. 7 bas	-2,7	-0,01	0	0	0,02	0,02	0,01	7,8	7,4	5,2	2,5	2,3	1,8
St. 7 haut	-2,2	-0,01	0	0	0,03	0,03	0,01	6,2	6,4	2,7	2,1	2,1	1,4
T = 2 s													
St.1 bas	-2,5	-0,01	0,01	0	0,27	0,47	0,07	2,4	3,9	1,1	1,3	1,6	1,1
St.1 haut	-1,8	-0,4	-0,03	-0,11	1,17	1,31	0,3	0,3	0,3	-0,2	1	1	1
St. 3 bas	-2,5	-0,02	0	0	0,05	0,03	0,03	5,5	7,7	5,4	1,9	2,4	1,9
St. 3 haut	-1,8	-0,02	0	0	0,1	0,02	0,08	3,8	6,7	3,5	1,6	2,2	1,5
St. 5 bas	-2,7	0,02	0	0	0,05	0,01	0,02	8,8	10	6,1	2,7	3,2	2
St. 5 haut	-1,8	-0,02	0	0	0,1	0,01	0,09	4,7	4,9	3	1,7	1,7	1,4
St. 7 bas	-2,7	-0,01	-0,01	0	0,05	0,02	0,02	10,5	10,1	8,1	3,3	3,2	2,5
St. 7 haut	-2,2	-0,02	0	0	0,07	0,02	0,05	7,3	7,4	3,8	2,3	2,3	1,5
T = 4 s													
St.1 bas	-2,5	-0,01	0,01	0,01	0,19	0,15	0,05	5,4	6,3	4,7	1,9	2,1	1,7
St.1 haut	-1,8	-0,09	-0,03	-0,02	0,38	0,38	0,1	0,2	0,2	0,5	1	1	1,1
St. 3 bas	-2,5	-0,01	0,01	0,01	0,19	0,02	0,05	5,8	6,9	4,7	1,9	2,2	1,7
St. 3 haut	-1,8	-0,01	0,01	0,01	0,22	0,02	0,09	3,9	6,3	4,2	1,6	2,1	1,6
St. 5 bas	-2,7	0,01	0	0	0,19	0,03	0,04	8,1	9	4,6	2,5	2,8	1,7
St. 5 haut	-1,8	0	-0,01	0	0,21	0	0,1	3,8	3,4	3	1,6	1,5	1,4
St. 7 bas	-2,7	-0,01	0	0	0,2	0,01	0,04	7,1	6,8	6,4	2,3	2,2	2,1
St. 7 haut	-2,2	-0,01	0,04	0,04	0,26	0,08	0,07	5,7	6,1	3	1,9	2	1,4
T = 6 s													
St.1 bas	-2,5	0	0,01	0	0,23	0,2	0,04	4,8	5,6	4,2	1,7	1,9	1,6
St.1 haut	-1,8	-0,1	-0,03	-0,02	0,38	0,38	0,1	0,2	0,2	0,6	1	1	1,1
St. 3 bas	-2,5	0	0,01	0	0,23	0,02	0,04	5	6,1	4	1,8	2	1,6
St. 3 haut	-1,8	0	0,01	0	0,25	0,02	0,07	4	6,2	4,3	1,6	2	1,6
St. 5 bas	-2,7	0,01	0	0,01	0,23	0,03	0,03	6,9	7,9	3,7	2,2	2,5	1,5
St. 5 haut	-1,8	0	-0,01	0	0,24	0,01	0,08	4,3	3,6	3,1	1,6	1,5	1,4
St. 7 bas	-2,7	0	0	0,01	0,24	0,02	0,03	6,1	5,9	5,7	2	2	1,9
St. 7 haut	-2,2	-0,04	0,04	0,04	0,26	0,06	0,04	5	5,4	2,5	1,8	1,9	1,3

T = 8 s													
St.1 bas	-2,5	0,01	0,01	0	0,24	0,1	0,03	2,9	3,5	1,6	1,4	1,5	1,2
St.1 haut	-1,8	-0,12	-0,06	-0,03	0,39	0,41	0,1	-0,6	-0,6	-0,3	0,9	0,9	1
St. 3 bas	-2,5	0,02	0,01	0	0,25	0,02	0,04	4,4	5,5	3,4	1,7	1,9	1,5
St. 3 haut	-1,8	-0,01	0	0	0,26	0,03	0,06	3,2	5,5	3,6	1,5	1,9	1,5
St. 5 bas	-2,7	-0,01	0	0,01	0,25	0,04	0,02	7,5	8,3	4,1	2,4	2,6	1,6
St. 5 haut	-1,8	0	-0,01	0,01	0,27	0,01	0,08	3,8	3,2	2,7	1,6	1,4	1,4
St. 7 bas	-2,7	0,01	0	0	0,23	0,02	0,03	6,5	6,2	6	2,1	2,1	2
St. 7 haut	-2,2	-0,01	0,04	0,02	0,24	0,05	0,05	5	5,3	2,5	1,8	1,8	1,3
T = 10 s													
St.1 bas	-2,5	0,01	0,01	-0,01	0,25	0,12	0,03	2,3	2,8	1,2	1,3	1,4	1,1
St.1 haut	-1,8	-0,12	-0,06	-0,03	0,39	0,42	0,1	-0,7	-0,7	-0,4	0,9	0,9	1
St. 3 bas	-2,5	0,01	0,01	-0,01	0,25	0,02	0,03	4,2	5,3	3,2	1,6	1,8	1,5
St. 3 haut	-1,8	-0,01	0,01	-0,01	0,26	0,02	0,05	2,8	5,1	3,2	1,4	1,8	1,4
St. 5 bas	-2,7	-0,01	0	0,01	0,23	0,03	0,02	7,2	8	3,8	2,3	2,5	1,6
St. 5 haut	-1,8	-0,01	0	0,01	0,24	0,02	0,08	4,6	4,3	3,7	1,7	1,6	1,5
St. 7 bas	-2,7	0,01	0	0,01	0,27	0,02	0,02	7	6,7	6,4	2,2	2,2	2,1
St. 7 haut	-2,2	-0,02	0,05	0,02	0,28	0,06	0,04	5,3	5,7	2,7	1,8	1,9	1,4
T = 12 s													
St.1 bas	-2,5	-0,02	0,01	0	0,23	0,17	0,03	6,1	7,8	4,4	2	2,5	1,7
St.1 haut	-1,8	-0,32	0,11	-0,08	1,13	1,17	0,3	0,5	0,5	0,3	1,1	1,1	1
St. 3 bas	-2,5	-0,02	0	0	0,2	0,02	0,02	9,6	12,2	8,9	3	4,1	2,8
St. 3 haut	-1,8	-0,01	0,01	0	0,2	0,01	0,03	7,6	9,6	7,5	2,4	3	2,4
St. 5 bas	-2,7	0,01	0	0	0,22	0,03	0,01	12,8	14,8	10	4,4	5,5	3,1
St. 5 haut	-1,8	-0,01	0	0	0,24	0,01	0,04	11,5	11,1	9,9	3,8	3,6	3,1
St. 7 bas	-2,7	0	0	0	0,23	0,01	0,01	18,6	17,2	16,9	8,5	7,2	7
St. 7 haut	-2,2	-0,02	0,05	0,02	0,27	0,05	0,03	16,4	17	13,8	6,6	7,1	4,9
Vague (H) 1 m													
T = 2 s													
St.1 bas	-2,5	-0,01	0	0	0,07	0,09	0,04	3,8	4,5	2,5	1,5	1,7	1,3
St.1 haut	-1,8	-0,14	-0,07	-0,03	0,38	0,4	0,1	-0,6	-0,6	-0,3	0,9	0,9	1
St. 3 bas	-2,5	-0,02	0	0	0,07	0,03	0,04	4	5,1	3	1,6	1,8	1,4
St. 3 haut	-1,8	-0,03	0	0	0,12	0,03	0,09	3,4	5,6	3,8	1,5	1,9	1,6
St. 5 bas	-2,7	0,01	0	0	0,06	0,02	0,03	7,2	7,8	3,6	2,3	2,5	1,5
St. 5 haut	-1,8	-0,01	-0,01	0	0,12	0,02	0,11	4,4	3,8	3,3	1,7	1,6	1,5
St. 7 bas	-2,7	-0,02	0	0	0,06	0,02	0,03	8,6	8,4	8	2,7	2,6	2,5
St. 7 haut	-2,2	-0,02	0	0	0,08	0,03	0,06	7,2	7,5	4,4	2,3	2,4	1,7
T = 4 s													
St.1 bas	-2,5	-0,03	0,01	0	0,38	0,11	0,1	3	3,7	1,7	1,4	1,5	1,2
St.1 haut	-1,8	-0,15	-0,08	-0,04	0,38	0,41	0,1	-0,6	-0,6	-0,2	0,9	0,9	1
St. 3 bas	-2,5	-0,03	0,01	0,02	0,4	0,03	0,1	4,9	6,1	3,9	1,8	2	1,6
St. 3 haut	-1,8	0	0,02	0,01	0,57	0,21	0,11	3,6	5,7	3,9	1,5	1,9	1,6
St. 5 bas	-2,7	0,02	0,04	0,02	0,35	0,06	0,07	7,5	8,4	4,1	2,4	2,6	1,6
St. 5 haut	-1,8	-0,02	-0,02	0	0,39	0,02	0,19	4,5	3,9	3,4	1,7	1,6	1,5
St. 7 bas	-2,7	-0,03	-0,03	0,02	0,38	0,03	0,07	7,7	7,4	7,1	2,4	2,3	2,3
St. 7 haut	-2,2	-0,07	0,05	0,04	0,42	0,08	0,11	5,9	6,2	3,2	2	2	1,4

T = 6 s													
St.1 bas	-2,5	-0,02	0,02	0	0,45	0,15	0,07	1,6	3,1	0,5	1,2	1,4	1,1
St.1 haut	-1,8	-0,13	-0,07	-0,03	0,38	0,42	0,1	-1,5	-1,5	-1,8	0,8	0,8	0,8
St. 3 bas	-2,5	-0,04	0,02	0,01	0,46	0,09	0,07	2,8	4,5	1,6	1,4	1,7	1,2
St. 3 haut	-1,8	-0,2	0,02	0,03	0,47	0,08	0,11	2,3	5,1	2	1,3	1,8	1,3
St. 5 bas	-2,7	0,02	0,01	0,01	0,45	0,07	0,05	6,9	7,7	4,7	2,2	2,4	1,7
St. 5 haut	-1,8	-0,02	-0,01	0	0,47	0,02	0,14	2,5	2,1	0,9	1,3	1,3	1,1
St. 7 bas	-2,7												
St. 7 haut	-2,2												
T = 10 s													
St.1 bas	-2,5	-0,03	0,02	-0,01	0,51	0,15	0,05	5,7	7,3	4,1	1,9	2,3	1,6
St.1 haut	-1,8	-0,33	0,15	-0,08	1,15	1,17	0,3	0,7	0,7	0,5	1,1	1,1	1,1
St. 3 bas	-2,5	-0,02	0	0	0,49	0,03	0,05	11,7	14	10,9	3,9	5	3,5
St. 3 haut	-1,8	-0,01	0,01	0	0,5	0,03	0,09	8,9	10,9	8,8	2,8	3,5	2,8
St. 5 bas	-2,7	0,02	0	0,01	0,42	0,07	0,05	13,7	15,5	10,6	4,8	6	3,4
St. 5 haut	-1,8	-0,01	-0,01	0,01	0,44	0,02	0,13	9,5	9,3	8,1	3	2,9	2,5
St. 7 bas	-2,7	-0,01	0	0,01	0,5	0,04	0,05	21,2	20,1	20,2	11,5	10,1	10,2
St. 7 haut	-2,2	-0,06	0,1	0,04	0,54	0,08	0,08	17,6	18,3	15,3	7,6	8,2	5,9
T = 12 s													
St.1 bas	-2,5	-0,02	0,01	0	0,43	0,21	0,04	5,4	7	3,8	1,9	2,2	1,5
St.1 haut	-1,8	-0,32	0,14	-0,08	1,12	1,16	0,31	0,7	0,7	0,5	1,1	1,1	1,1
St. 3 bas	-2,5	-0,02	0,01	0	0,42	0,02	0,04	9	11,4	8,2	2,8	3,7	2,6
St. 3 haut	-1,8	-0,03	0,01	0	0,42	0,02	0,08	8,9	11	8,9	2,8	3,5	2,8
St. 5 bas	-2,7	0,03	0	0,01	0,47	0,07	0,03	15,4	17,2	12,4	5,9	7,2	4,2
St. 5 haut	-1,8	-0,01	0	-0,01	0,48	0,01	0,09	11,2	10,9	9,8	3,7	3,5	3,1
St. 7 bas	-2,7	-0,01	0	0,01	0,45	0,03	0,04	21,6	20,4	20,5	12	10,5	10,6
St. 7 haut	-2,2	-0,07	0,1	0,03	0,5	0,06	0,07	18,7	19,3	16,6	8,6	9,2	6,8
Vague (H) 1,5 m													
T = 4 s													
St.1 bas	-2,5	-0,07	0,01	0	0,52	0,18	0,13	4,9	5,8	3,4	1,8	2	1,5
St.1 haut	-1,8	-0,13	-0,06	-0,04	0,4	0,41	0,11	0,1	0,1	0,4	1	1	1
St. 3 bas	-2,5	-0,09	0,01	0	0,51	0,07	0,11	6,5	7,5	5,6	2,1	2,4	1,9
St. 3 haut	-1,8	-0,09	0,03	-0,02	0,57	0,05	0,22	5,3	6,4	4,9	1,8	2,1	1,8
St. 5 bas	-2,7	0,03	0,01	0,01	0,52	0,09	0,11	8,9	9,8	6,3	2,8	3,1	2,1
St. 5 haut	-1,8	-0,06	-0,02	0	0,58	0,03	0,3	4	3,5	2,3	1,6	1,5	1,3
St. 7 bas	-2,7	-0,07	-0,05	0,02	0,5	0,09	0,09	4,1	4,3	2,2	1,6	1,6	1,3
St. 7 haut	-2,2	-0,11	0,08	0,04	0,57	0,1	0,15	6,2	6,8	3,7	2	2,2	1,5
T = 6 s													
St.1 bas	-2,5	-0,1	0,04	-0,03	0,63	0,56	0,13	1	1,9	0,4	1,1	1,2	1
St.1 haut	-1,8	-0,23	-0,11	-0,05	0,73	0,78	0,19	-1	-1,1	-1,7	0,9	0,9	0,8
St. 3 bas	-2,5	-0,06	0,04	-0,01	0,68	0,34	0,12	9,1	11,1	8,6	2,9	3,6	2,7
St. 3 haut	-1,8	-0,06	0,02	-0,01	0,69	0,08	0,2	7,6	9,4	7,8	2,4	3	2,4
St. 5 bas	-2,7	0,04	0,02	0,01	0,64	0,1	0,08	12,9	14,9	10,5	4,4	5,5	3,4
St. 5 haut	-1,8	-0,07	-0,02	0	0,66	0,03	0,23	9,9	10	8,9	3,1	3,1	2,8
St. 7 bas	-2,7	-0,03	-0,01	0,01	0,62	0,05	0,08	18,3	16,8	17	8,2	6,9	7,1
St. 7 haut	-2,2	-0,08	0,11	0,02	0,69	0,09	0,13	14,8	15,3	12,3	5,5	5,8	4,1

Tableau 13. Test de qualité des appareils Vectrino I - profondeur d'eau de 3,5 mètres : V moy est la vitesse moyenne, V SD est la déviation standard des vitesses mesurées, SNR est l'expression du signal-to-noise ratio (Équation 11), S/N est le ratio du signal et du bruit et ce, dans la direction de x, y et z en fonction de la période (T). Les longueurs des séries de données (N) sont les mêmes que pour les Vectrino II (tableaux précédents). La profondeur de l'appareil par rapport au niveau d'eau (d) est dénotée par z.

	d	V_x moy (m/s)	V_y moy (m/s)	V_z moy (m/s)	V_x SD	V_y SD	V_z SD	SNR_x	SNR_y	SNR_z	S/N_x	S/N_y	S/N_z
Maximum de courant													
Niveau 1 m													
St.1 bas	0	0,26	-0,02	0	0,11	0,02	0,01	18	18,2	15,4	8	8,1	5,9
St.1 haut	0,7												
St. 3 bas	0	0,05	-0,01	0,01	0,15	0,01	0,03	18,1	20,3	17,4	8	10,4	7,4
St. 3 haut	0,7	-0,14	-0,12	-0,04	0,4	0,42	0,1	-1,3	-0,7	-1	0,9	0,9	0,9
St. 5 bas	-0,2	-0,16	-0,02	0	0,06	0,01	0,01	22	22,6	20,2	12,6	13,6	10,2
St. 5 haut	0,7	-0,06	0,03	-0,01	0,46	0,12	0,52	-2,4	-2,6	-2,7	0,8	0,7	0,7
St. 7 bas	-0,2	0,13	0	0	0,02	0,01	0	20,4	20,1	19,4	10,5	10,2	9,3
St. 7 haut	0,3	0,15	0,02	0,01	0,05	0,01	0,01	20	21,4	18,4	10	11,7	8,3
Niveau 1,5 m													
St.1 bas	-0,5	0,02	0	0	0,06	0,01	0,01	19,5	19,6	16,9	9,5	9,6	7
St.1 haut	0,2												
St. 3 bas	-0,5	0,14	0	0	0,01	0,01	0,01	21,3	23,2	20,7	11,6	14,4	10,9
St. 3 haut	0,2	0,14	0	0	0,02	0,01	0,01	19,9	21,8	20,2	9,9	12,3	10,2
St. 5 bas	-0,7	-0,13	-0,02	0	0,01	0,01	0,01	23,1	23,5	21,6	14,3	15	12
St. 5 haut	0,2	0,13	0,01	0	0,02	0,01	0,01	19,9	20,1	18,5	9,8	10,1	8,4
St. 7 bas	-0,7	0,14	0	-0,01	0,01	0,01	0,01	21,7	21,5	21,1	12,1	11,9	11,3
St. 7 haut	-0,2	0,14	0,02	0	0,01	0,01	0,01	21,9	23,2	21	12,5	14,4	11,3
Niveau 2 m													
St.1 bas	-1	0,16	-0,01	0	0,03	0,02	0,02	21,7	21,8	19,3	12,2	12,3	9,2
St.1 haut	-0,3												
St. 3 bas	-1	0,15	-0,01	0	0,05	0,01	0,01	21	22,9	20,4	11,2	13,9	10,4
St. 3 haut	-0,3	0,16	0	0	0,03	0,01	0,01	20	21,7	20,2	10	12,2	10,2
St. 5 bas	-1,2	-0,16	-0,02	0	0,02	0,01	0,01	23	23,4	21,4	14,1	14,8	11,8
St. 5 haut	-0,3	0,17	0	0	0,02	0,01	0,01	19,5	19,6	18	9,4	9,6	8
St. 7 bas	-1,2	0,16	0	0	0,02	0,01	0,01	21,6	21,4	20,9	12	11,7	11,1
St. 7 haut	-0,7	0,16	0,03	0	0,02	0,01	0,01	21,6	22,9	20,5	12	14	10,6
Niveau 3 m													
St.1 bas	-2	0,14	-0,02	-0,01	0,03	0,03	0,02	23,1	24,9	21,5	14,4	17,6	11,9
St.1 haut	-1,3	0,14	0,01	0	0,11	0,06	0,03	2,6	4,1	2,1	1,4	1,6	1,3
St. 3 bas	-2	0,16	-0,01	0	0,02	0,03	0,02	23,4	23,7	21,6	14,8	15,4	12
St. 3 haut	-1,3	0,16	0	0	0,02	0,02	0,02	21,9	22,4	21,6	12,5	13,2	12
St. 5 bas	-2,2	-0,17	-0,02	-0,01	0,02	0,02	0,02	22,4	22,6	20,9	13,2	13,6	11
St. 5 haut	-1,3												
St. 7 bas	-2,2	0,17	-0,01	-0,01	0,02	0,02	0,01	23,6	23,5	23,6	15,1	14,9	15,2
St. 7 haut	-1,7	0,17	0,03	0	0,02	0,02	0,01	21,3	22,9	22	11,7	13,9	12,6

Niveau 3,5 m													
St.1 bas	-2,5	0,16	-0,01	-0,01	0,04	0,04	0,03	23,7	23,8	21,6	15,3	15,4	12,1
St.1 haut	-1,8	0,15	0,01	0	0,06	0,05	0,04	2,3	3,7	2,7	1,3	1,5	1,4
St. 3 bas	-2,5	0,13	-0,01	0	0,09	0,03	0,02	22,7	24,2	22,2	13,6	16,2	12,8
St. 3 haut	-1,8	0,17	0	-0,01	0,02	0,02	0,02	22,4	23,4	22,6	13,2	14,7	13,6
St. 5 bas	-2,7	-0,16	-0,02	-0,01	0,02	0,02	0,01	23,7	24	22,4	15,3	15,8	13,2
St. 5 haut	-1,8	0,16	0	0	0,02	0,02	0,02	21,5	22	20,7	11,9	12,6	10,8
St. 7 bas	-2,7	0,17	0	-0,01	0,02	0,01	0,01	22,6	22,5	22,3	13,4	13,3	13,1
St. 7 haut	-2,2	0,17	0,03	0	0,01	0,01	0,01	23,1	24,2	22,9	14,3	16,2	14

Il n'y a pas de réelle tendance à ce que les valeurs SNR augmentent en fonction de la hauteur de vague (H) et de la période (T), ce qui est étonnant puisque les valeurs de courant augmentent (section

Tableau 15. Expérience 3 : Temps que mettent les vagues à parcourir la distance (10 mètres) entre la station 1 et 3 (t1), la station 3 et 5 (t2) et la station 5 et 7 (t3), vitesse de groupe moyenne ($C_{g\,moy}$) et comparaison avec les vitesses théoriques de phase (C) de Fenton & McKee (1990)et la vitesse de groupe (C_g) (Équation **5**).

T	t1	t2	t3	$C_{g\ moy\ Expérience\ 3}$	$C_{g\ moy\ Expérience\ 2}$	C	C_g
(s)	(s)	(s)	(s)	(m/s)	(m/s)	(m/s)	(m/s)
Niveau 2,5 m							
Vague 0,5 m							
10	2	2	2	5,0	4,8	4,9	4,8
Vague 1 m							
10	2	2	2	5,0	4,9	4,9	4,8
Vague 1,5 m							
6	2,1	2,1	2,1	4,8	5,1	4,8	4,4
Niveau 3 m							
Vague 0,5 m							
12	2	2	2	5,0	-	-	-
Vague 1 m							
12	1,9	1,9	1,9	5,3	5,4	5,4	5,2
Vague 1,5 m							
8	1,9	1,8	1,9	5,4	5,4	5,3	5
Niveau 3,5 m							
Vague 0,5 m							
12	1,8	1,9	2	5,3	5,2	5,8	5,6
Vague 1 m							
12	1,8	1,8	1,8	5,6	5,8	5,8	5,6
Vague 1,5 m							
8	1,8	1,8	1,8	5,6	5,5	5,7	5,3

5.2 Expérience 2). En fait, les valeurs de SNR des Vectrino I sont relativement moins bonnes que celles du Vectrino II. Les valeurs SNR des Vectrino I sont généralement assez faibles de sorte que le ratio signal/bruit varie environ entre 0,5 et 16. Il serait intéressant d'avoir des mesures avec des niveaux de turbidité plus élevés afin de savoir si cela pourrait améliorer la qualité des données (i.e. la valeur SNR). Il ne semble pas y avoir de différence majeure de qualité quant à la composante directionnelle mesurée (X, Y et Z). Il y a par contre des appareils, selon les tableaux précédents (en rouge), qui n'ont pas bien fonctionné lors des expériences. Il serait également plus efficace de diagnostiquer les problèmes d'enregistrement plus rapidement.

Pour la vitesse moyenne, il est normal que la résultante du courant en X soit en général légèrement négative (sauf Tableau 13); c'est en fait que, encore une fois, l'accélération le long de l'orbitale aplatie (trajectoire rectiligne) n'est pas constante. Il y a plus de données échantillonnées quand les particules reculent et moins quand les particules avancent au passage relativement rapide de la vague. Pour l'axe Y et Z, il se pourrait également que les Vectrino I ne soient pas exactement alignés avec les axes du canal ou qu'il y ait de la turbulence. Au Tableau 13, pour un courant continue sans vague, on voit en effet que les appareils pourraient être légèrement en angle avec le courant (lorsque $V_{y,z}$ moy $\neq 0$). Somme toute, il est intéressant de voir que, sans vague, le courant dans la colonne d'eau peut atteindre les 0,17 m s^{-1}.

5.1.2 Niveau d'eau

Les mesures de niveaux d'eau permettent également de connaître la vitesse de groupe (C_g) des vagues. En eau profonde, pour des vagues de courtes périodes, le milieu est dispersif et la vitesse mesurée du paquet d'onde correspond en effet à C_g. En milieu peu profond, pour des vagues de plus longues périodes, la vitesse de phase (C) est égale à la vitesse de groupe car le milieu est non dispersif. On peut ainsi en déduire la longueur d'onde et, avec la hauteur des vagues, l'énergie de celles-ci (

Équation 6).

Tableau 14. Expérience 2 : Temps que mettent les vagues à parcourir la distance (10 mètres) entre la station 1 et 3 (t1), la station 3 et 5 (t2) et la station 5 et 7 (t3), vitesse de groupe moyenne ($C_{g\,moy}$) et comparaison avec les vitesses théoriques de phase (C) de Fenton & McKee (1990)et la vitesse de groupe (C_g) (Équation 5).

T	t1	t2	t3	$C_{g\,moy}$	C	C_g
(s)	(s)	(s)	(s)	(m/s)	(m/s)	(m/s)
Niveau 2,5 m						
Vague 0,5 m						
1,5	6,8	6,85	6,7	1,5	2,3	1,2
2	5,2	5,2	5,1	1,9	3,0	1,6
4	2,3	2,3	2,3	4,3	4,5	3,6
6	2,1	2,2	2	4,8	4,8	4,4
8	2	2	2,1	4,9	4,9	4,6
10	2	2	2,2	4,8	4,9	4,8
Vague 1 m						
2	7	6,95	-	1,4	3,0	1,6
4	-	3,8	4,1	2,5	4,5	3,6
6	2	2	2,1	4,9	4,8	4,4
8	2	1,9	2,1	5,0	4,9	4,6
10	2	2,1	2	4,9	4,9	4,8
Vague 1,5 m						
6	1,9	2	2	5,1	4,8	4,4
Niveau 3 m						
Vague 0,5 m						
1,5	6,8	6,9	7	1,4	2,3	1,2
2	5,2	5	5,1	2,0	3,1	1,6
4	2,3	2	2,4	4,5	4,8	3,7
6	2	1,9	1,9	5,2	5,2	4,7
8	1,9	2	1,9	5,2	5,3	5,0
10	1,8	1,8	1,9	5,4	5,4	5,2
Vague 1 m						
4	2	2,2	2	4,8	4,8	3,7
6	1,9	1,9	1,8	5,4	5,2	4,7
8	1,9	1,9	2	5,2	5,3	5,0
10	1,9	1,9	1,8	5,4	5,4	5,2
12	1,8	1,85	1,9	5,4	5,4	5,2
Vague 1,5 m						
6	2	1,9	1,8	5,3	5,2	4,7
8	1,8	1,9	1,9	5,4	5,3	5,0
Niveau 3,5 m						
Vague 0,5 m						
1,5	6,9	6,8	6,9	1,5	2,3	1,2
2	5,1	5	5,1	2,0	3,1	1,6
4	2,1	1,9	2	5	5,0	3,8
6	1,8	1,8	1,8	5,6	5,6	4,9
8	1,9	1,9	1,8	5,4	5,7	5,3
10	1,9	1,8	1,8	5,5	5,8	5,5
12	1,9	1,9	2	5,2	5,8	5,6
Vague 1 m						
2	4,9	5	5	2,0	3,1	1,6
6	1,8	1,7	1,8	5,7	5,6	4,9
10	1,8	1,8	1,8	5,6	5,8	5,5
12	1,8	1,7	1,7	5,8	5,8	5,6
Vague 1,5 m						
4	1,9	2,1	1,9	5,1	5,0	3,8
6	1,85	1,7	1,7	5,7	5,6	4,9
8	1,8	1,8	1,9	5,5	5,7	5,3

Tableau 15. Expérience 3 : Temps que mettent les vagues à parcourir la distance (10 mètres) entre la station 1 et 3 (t1), la station 3 et 5 (t2) et la station 5 et 7 (t3), vitesse de groupe moyenne ($C_{g\ moy}$) et comparaison avec les vitesses théoriques de phase (C) de Fenton & McKee (1990)et la vitesse de groupe (C_g) (Équation 5).

T	t1	t2	t3	$C_{g\ moy\ Expérience\ 3}$	$C_{g\ moy\ Expérience\ 2}$	C	C_g
(s)	(s)	(s)	(s)	(m/s)	(m/s)	(m/s)	(m/s)
Niveau 2,5 m							
Vague 0,5 m							
10	2	2	2	5,0	4,8	4,9	4,8
Vague 1 m							
10	2	2	2	5,0	4,9	4,9	4,8
Vague 1,5 m							
6	2,1	2,1	2,1	4,8	5,1	4,8	4,4
Niveau 3 m							
Vague 0,5 m							
12	2	2	2	5,0	-	-	-
Vague 1 m							
12	1,9	1,9	1,9	5,3	5,4	5,4	5,2
Vague 1,5 m							
8	1,9	1,8	1,9	5,4	5,4	5,3	5
Niveau 3,5 m							
Vague 0,5 m							
12	1,8	1,9	2	5,3	5,2	5,8	5,6
Vague 1 m							
12	1,8	1,8	1,8	5,6	5,8	5,8	5,6
Vague 1,5 m							
8	1,8	1,8	1,8	5,6	5,5	5,7	5,3

5.2 Expérience 2

Dans cette deuxième expérience, plusieurs appareils ont été installés le long du canal à 4 des 14 stations (St. 1, St. 3, St. 5 et St. 7). À la station 5, les données extraites des Vectrino I ont été situées dans un référentiel commun selon le montage de la Figure 7. Le but de cette expérience est de caractériser le régime et la cinématique des vagues en fonction du système d'acquisition de données. Dans un premier temps, cette série d'analyse illustre donc la hauteur des vagues mesurées par les jauges de niveaux d'eau pour de courtes séries de différentes périodes. Ainsi, il est possible de reconnaître visuellement le type de vague et de vérifier s'il y a une déformation des celles-ci entre les stations. Le niveau d'eau moyen (η_{moy}) n'est pas toujours égal entre les stations. Vu qu'il n'y pas de vérification sur la lecture des niveaux d'eau par les jauges après les séries de mesures, il est difficile de faire un correctif pour ce qui semble être une dérive de l'étalonnage des appareils. Par contre, les distances de crête-à-crête semblent semblables. Il est alors facile de faire une moyenne et de la soustraire de la série de niveau d'eau (peut-être différent de la profondeur d'eau (d) pour les vagues cnoïdales; utiliser alors l'analyse FFT). On parle ainsi de l'élévation de la surface par rapport au niveau d'eau moyen.

Il est intéressant de comparer les figures des courtes séries de niveaux d'eau aux prédictions du Tableau 4. Parfois, les crêtes sont plus élevées au-dessus du niveau d'eau dans le canal. À ce moment, plus de la moitié de la hauteur de la vague se situe au dessus de la profondeur d'eau (d). Cette situation se présente généralement à partir de la fréquence de 0,17 Hz (i.e. période de 6 secondes) dépendamment du niveau d'eau dans le canal (voir la section 2.3.3 Théorie cnoïdale). Le type de vague, cnoïdale ou de Stokes, peut également varier entre les stations. On observe également une seconde crête pour

les longues vagues de grandes amplitudes, correspondant au développement du cinquième ordre de la théorie de Stokes.

En étudiant de façon plus générale les séries de niveaux d'eau, sur un intervalle de temps plus grand, l'enveloppe des niveaux d'eau (i.e. les variations du crête-à-crête dans le temps) est relativement stable sauf pour les vagues ayant une courte période (1,5 seconde). Selon le Tableau 3, il s'agirait d'un milieu en eau profonde et dispersif pouvant donner lieu à des phénomènes d'interférence. En fait, une analyse par transformée de Fourier montre l'étalement des fréquences qui composent une série de vagues et ce, pour différentes périodes générées. Bien qu'une seule fréquence soit commandée au batteur, c'est une vague composée de plusieurs harmoniques qui se propagent dans le canal. Dans les solutions d'ordre supérieur, on y retrouve des harmoniques de fréquences plus élevées (La théorie de Stokes aux premiers ordres n'est généralement pas applicable en eau peu profonde). Pour le développement au deuxième ordre de la solution, la hauteur de la vague ne doit pas être plus élevée que la moitié de la profondeur d'eau. Selon le Tableau 3, environ 20% des expériences correspondent ainsi à la théorie de Stokes de troisième ordre et plus. Pour les vagues très cambrées voyageant dans des eaux peu profondes, l'amplitude des harmoniques peut devenir plus grande que celle de la fréquence fondamentale. À ce moment, la théorie des perturbations (ordre) n'est plus valide.

Finalement, les orbitales de courant sont illustrées aux quatre stations en surface, dans la colonne d'eau et au fond du canal. Pour les courants de fond, une analyse un peu plus poussée des 33 à 35 cellules des appareils Vectrino II est également présentée afin de visualiser les vecteurs de courant dans le plan XY et XZ.

5.2.1 Profondeur d'eau (d) de 2,5 mètres et hauteur de vague (H) de 0,5 mètre

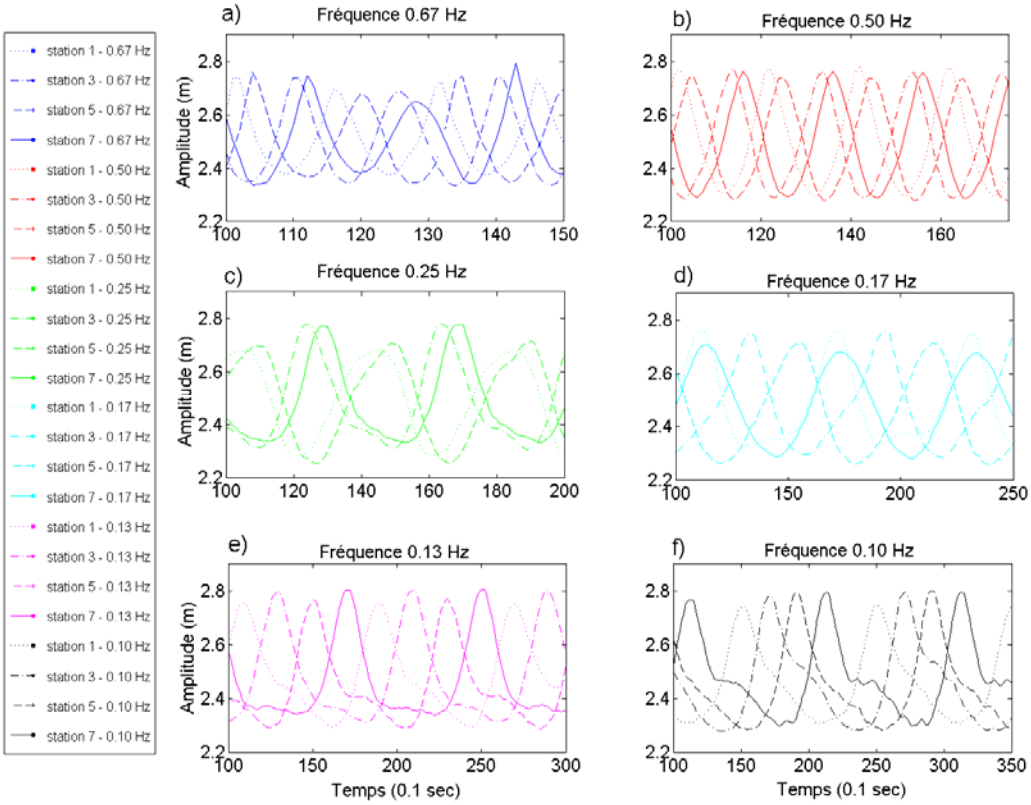


Figure 22. Niveaux d'eau enregistrés aux stations 1, 3, 5 et 7 pour une profondeur d'eau de 2,5 mètres, des vagues de 0,5 mètre de hauteur et des périodes de 1,5, 2, 4, 6, 8 et 10 secondes respectivement.

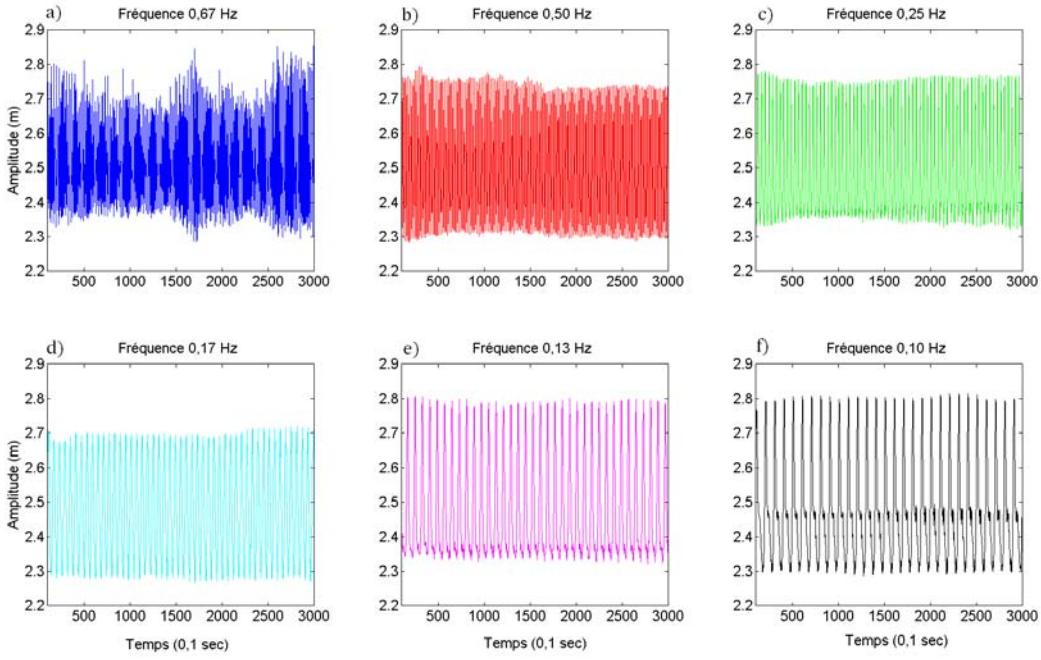


Figure 23. Niveaux d'eau enregistrés à la station 7 pour une profondeur d'eau de 2.5 mètres, des vagues de 0,5 mètre de hauteur et des périodes de 1,5, 2, 4, 6, 8 et 10 secondes respectivement.

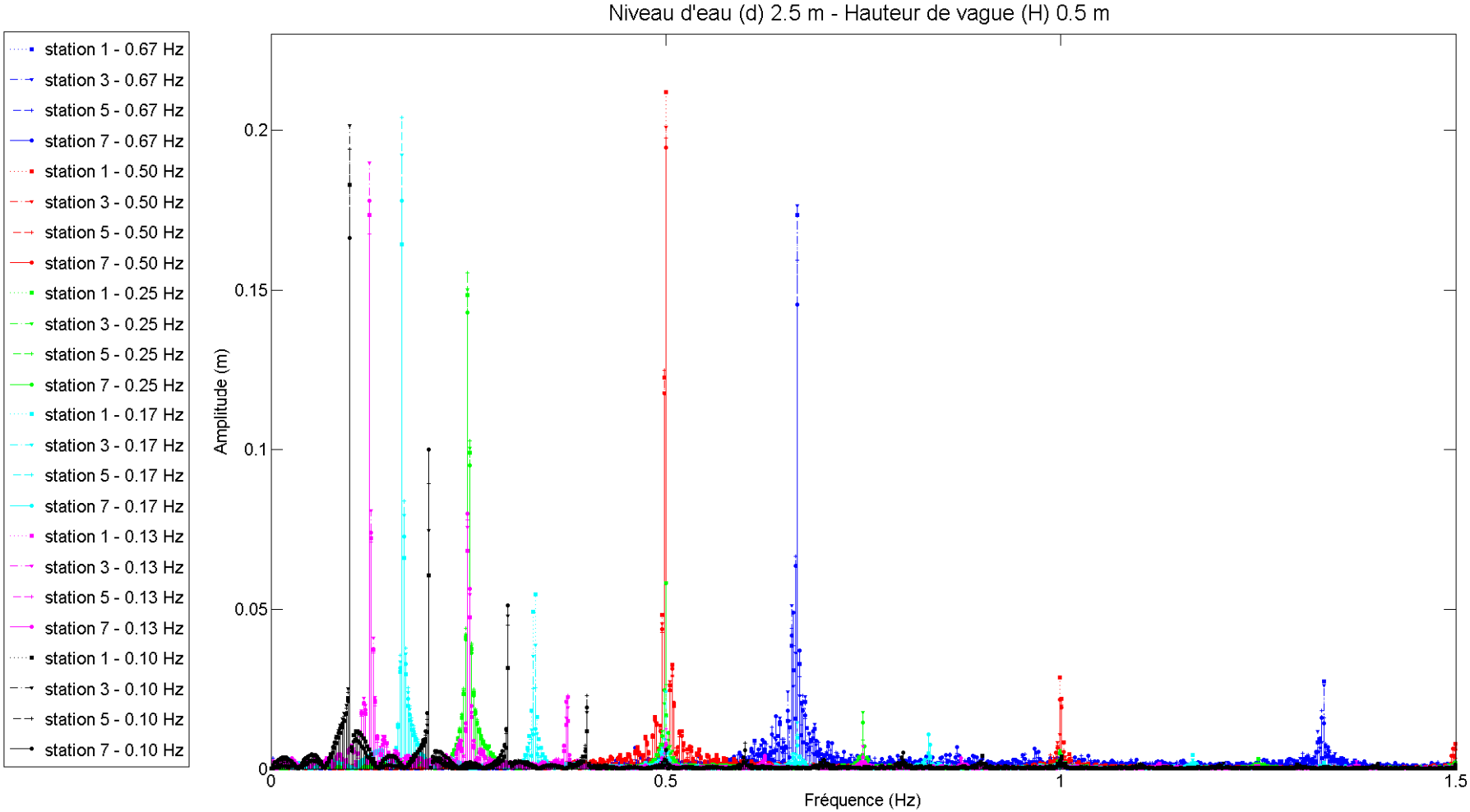


Figure 24. Transformée de Fourier : Résultats de l'analyse spectrale pour une profondeur d'eau de 2,5 m et une hauteur de vague de 0,5 m en fonction des différentes périodes de 1,5 (0,67 Hz), 2 s (0,50 Hz), 4 s (0,25 Hz), 6 s (0,17 Hz), 8 s (0,13 Hz) et 10 s (0,10Hz) pour les quatre stations d'échantillonnage du canal.

Période de 1,5 seconde :

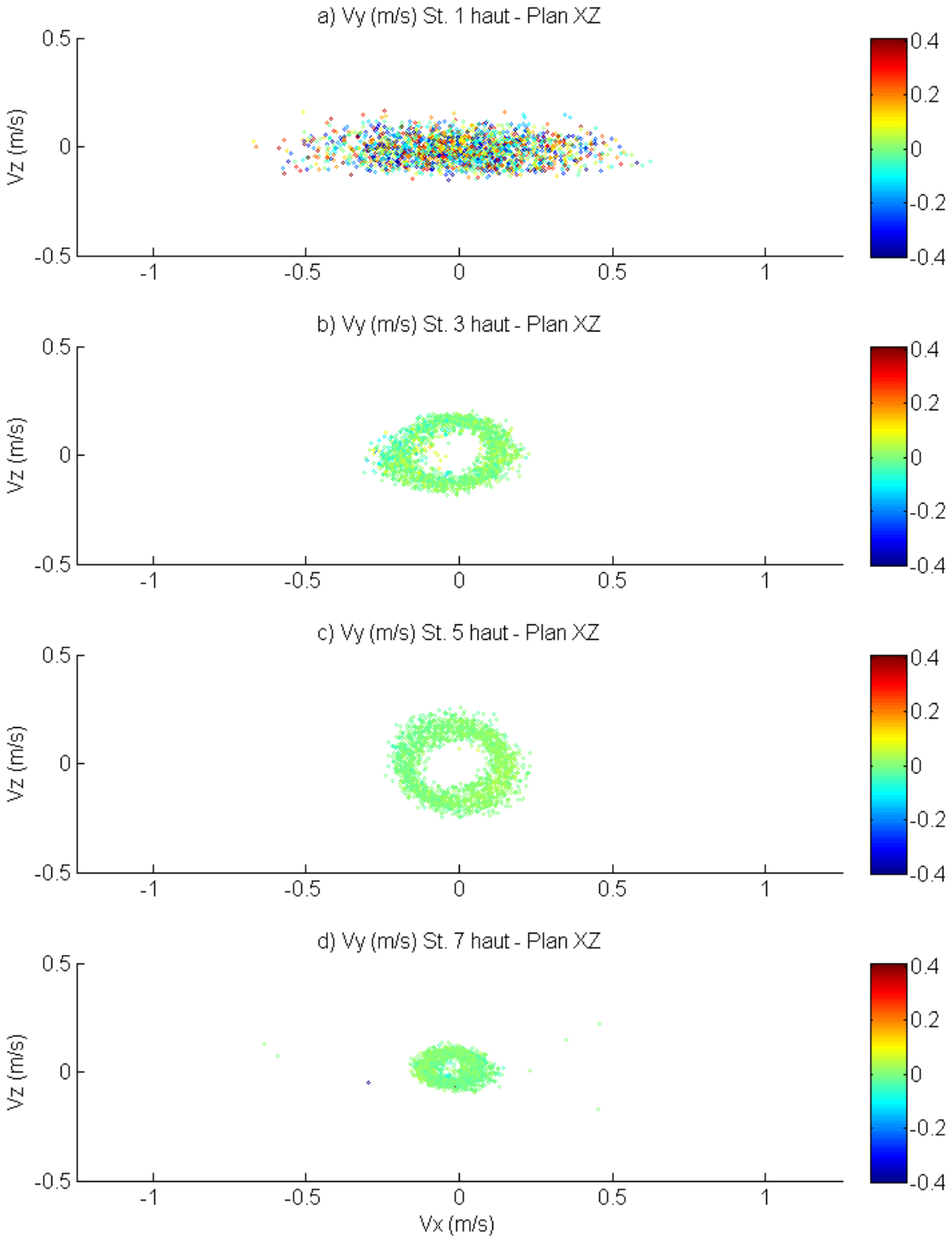


Figure 25. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino I situés en haut des quatre stations (a, b, c et d) pour une profondeur (d) de 2,5 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 1,5 s (N=2000)

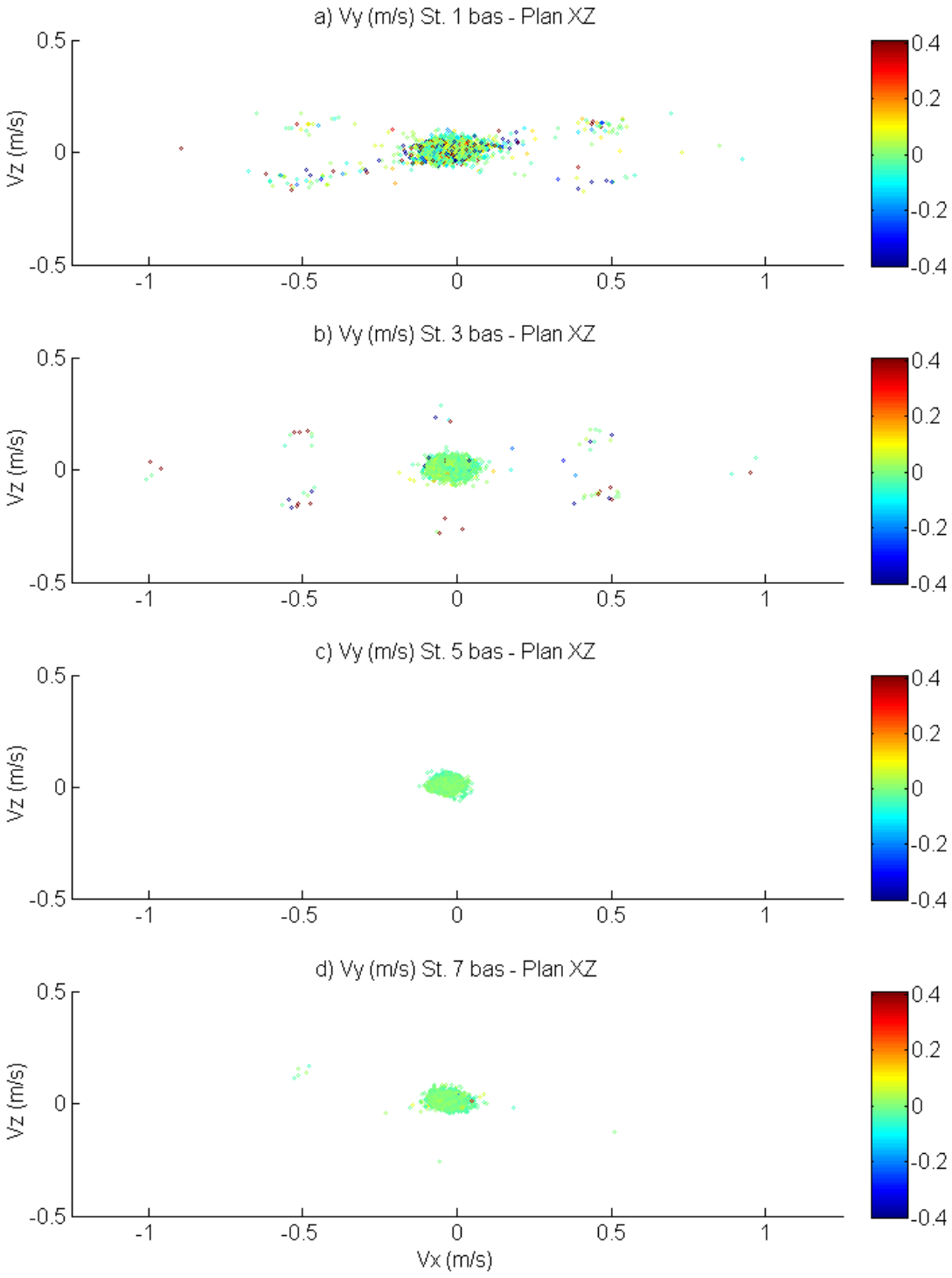


Figure 26. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino I situés au bas des quatre stations (a, b, c et d) pour une profondeur (d) de 2,5 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 1,5 s (N=2000)

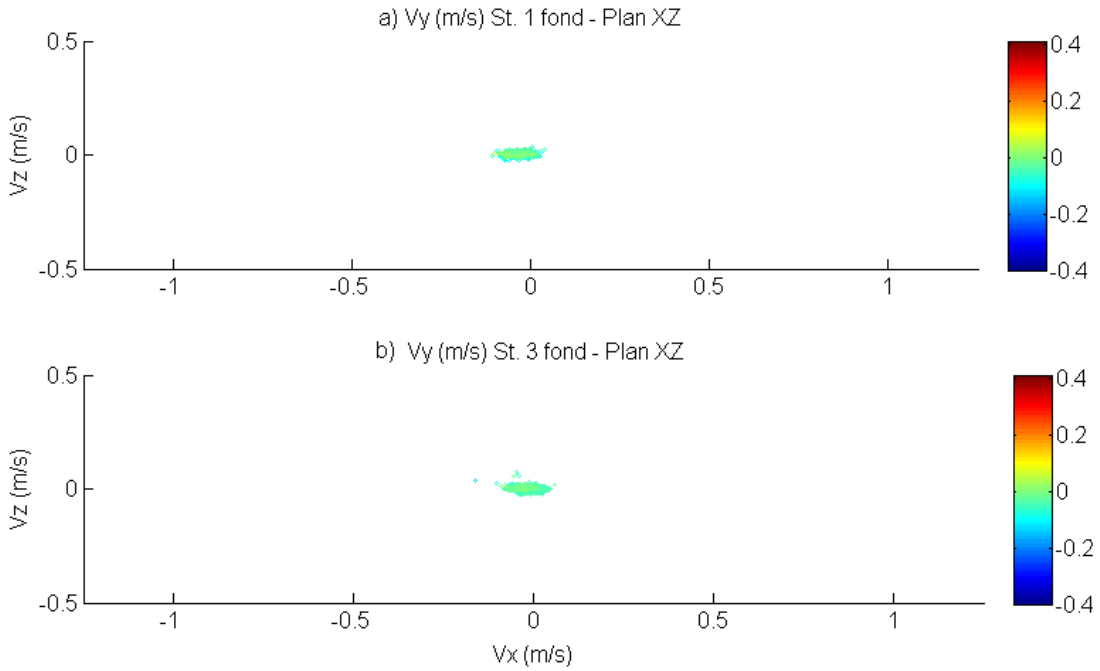


Figure 27. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino II situés au fond du canal aux stations a) 1 et b) 3 pour une profondeur (d) de 2,5 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 1,5 s (N=2000)

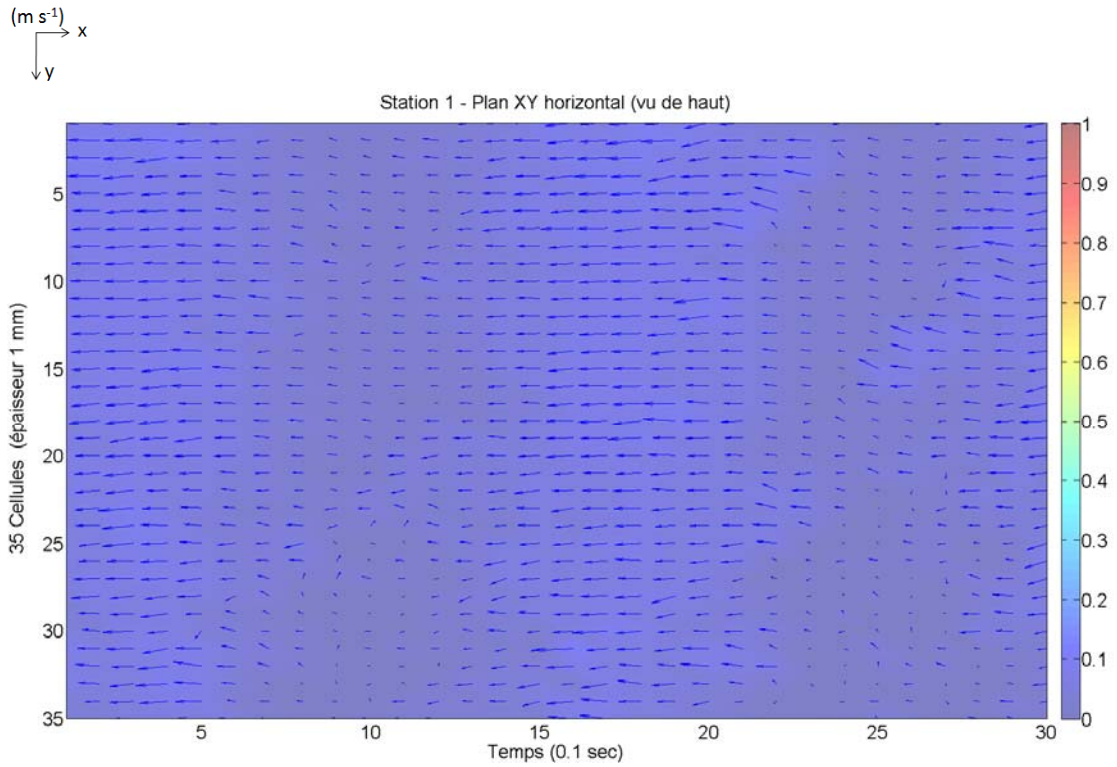


Figure 28. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XY) à la station 1 pour une profondeur (d) de 2,5 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 1,5 s (n = 1000 à 1029)

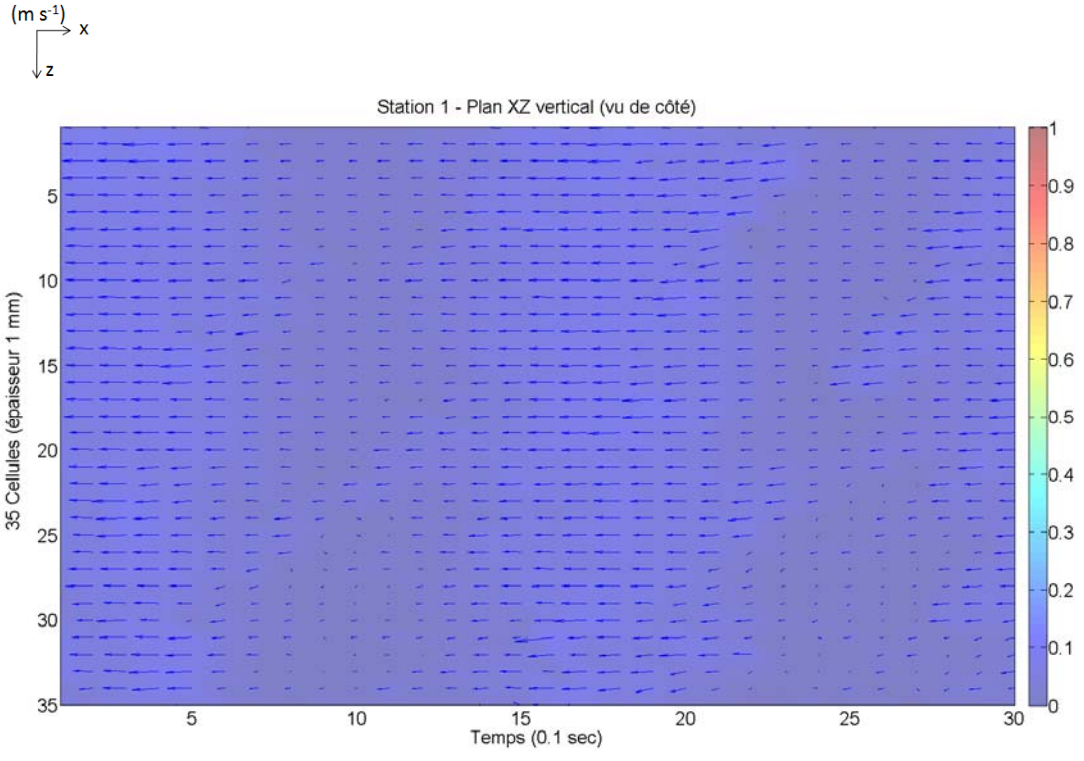


Figure 29. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan vertical (XZ) à la station 1 pour une profondeur (d) de 2,5 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 1,5 s (n = 1000 à 1029)

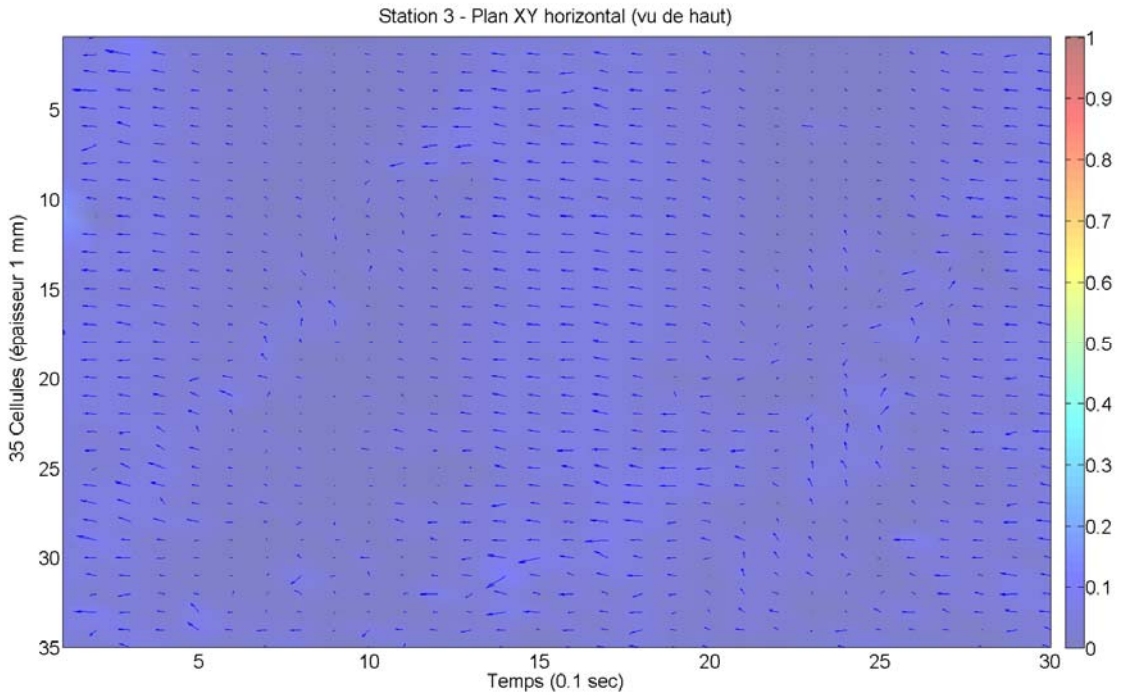


Figure 30. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XY) à la station 3 pour une profondeur (d) de 2,5 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 1,5 s (n = 1070 à 1099)

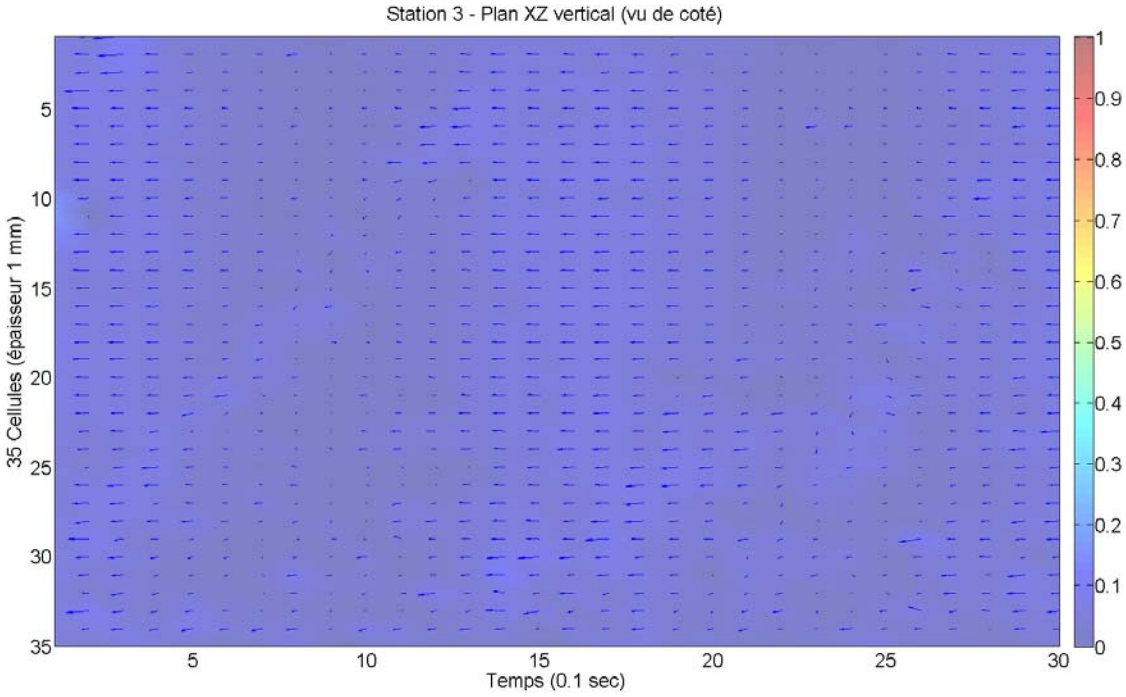


Figure 31. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan vertical (XZ) à la station 3 pour une profondeur (d) de 2,5 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 1,5 s (n = 1070 à 1099)

Période de 2 secondes :

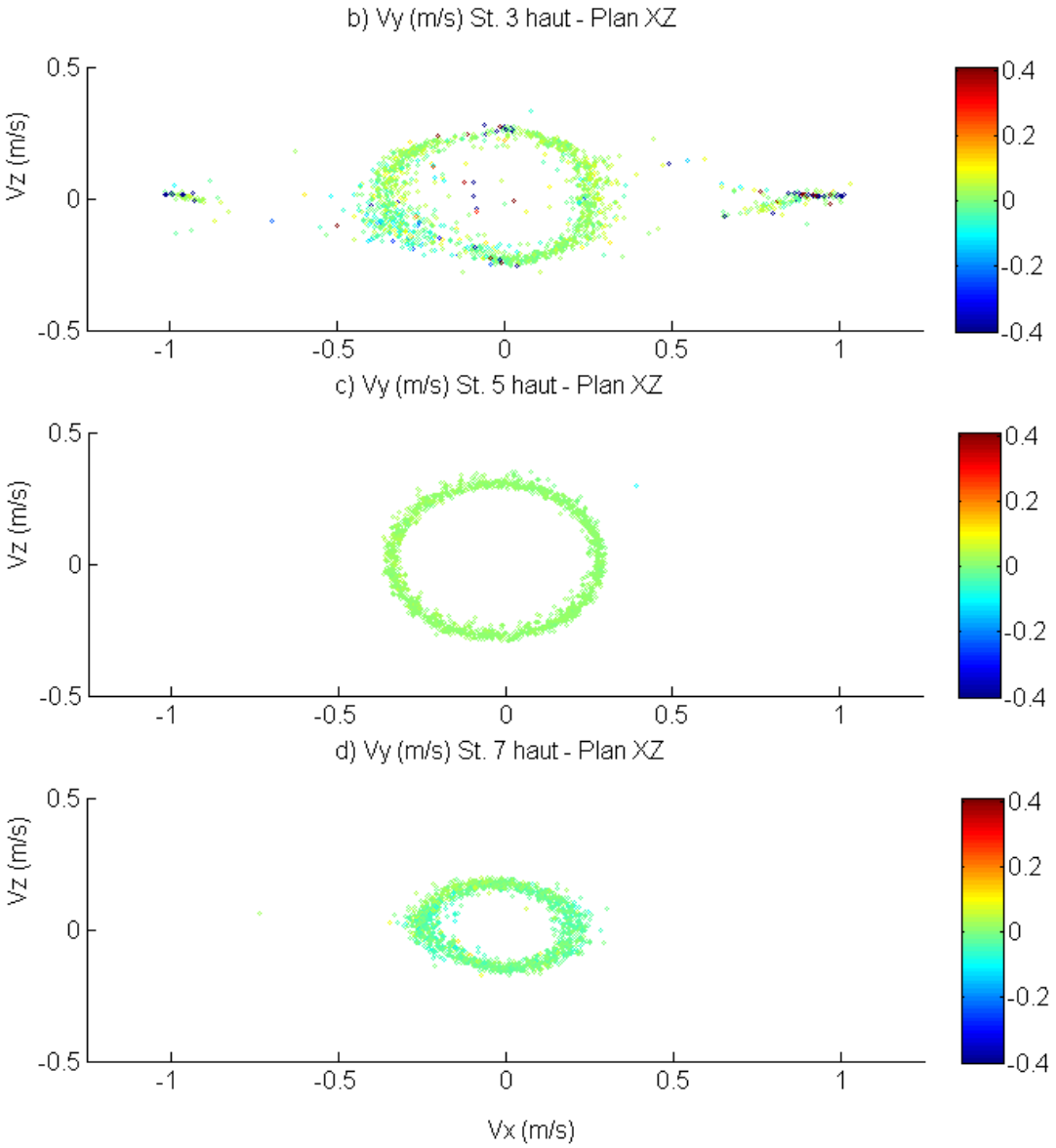


Figure 32. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino I situés en haut des quatre stations (a, b, c et d) pour une profondeur (d) de 2,5 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 2 s (N=1500)

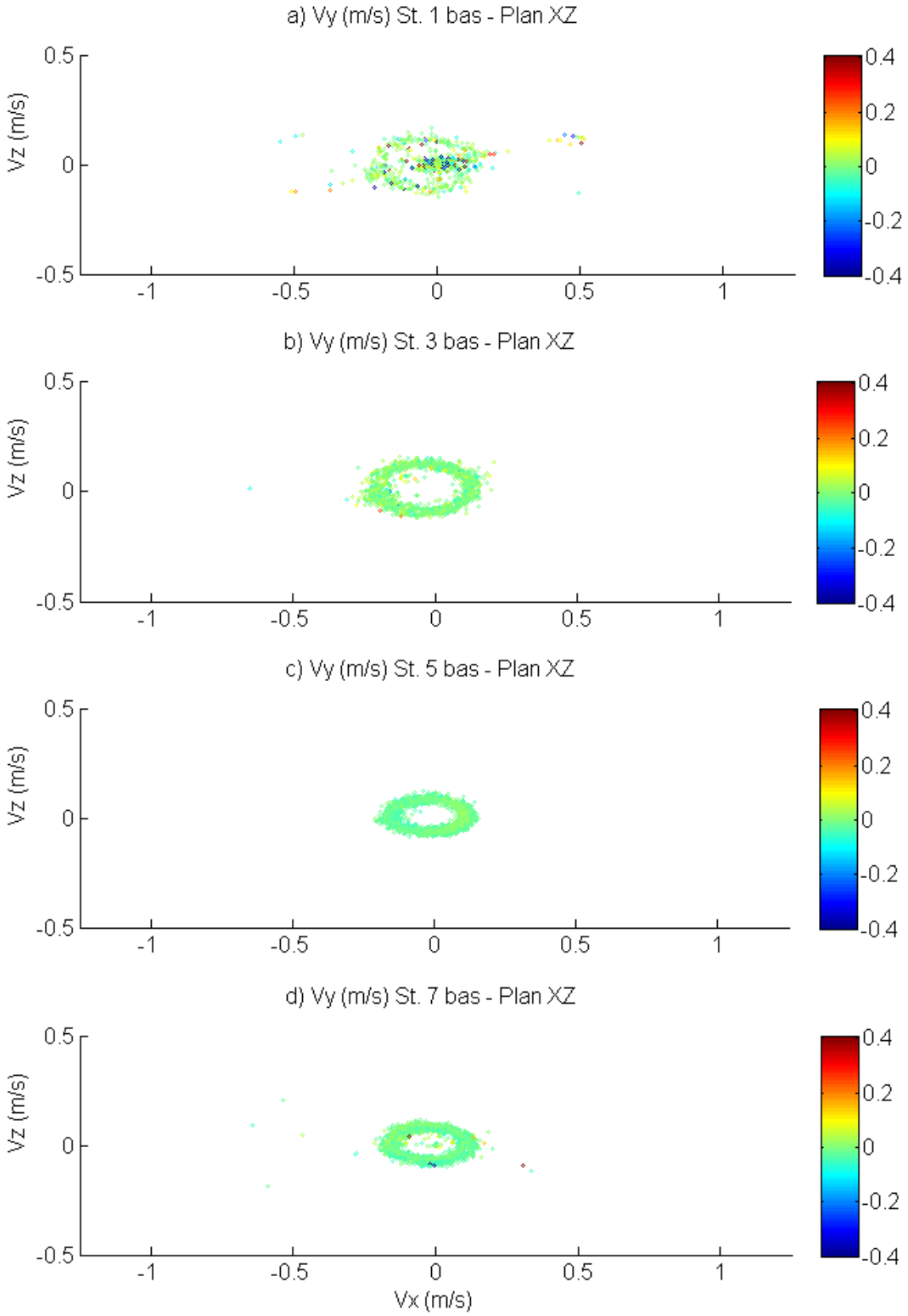


Figure 33. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino I situés au bas des quatre stations (a, b, c et d) pour une profondeur (d) de 2,5 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 2 s (N=1500)

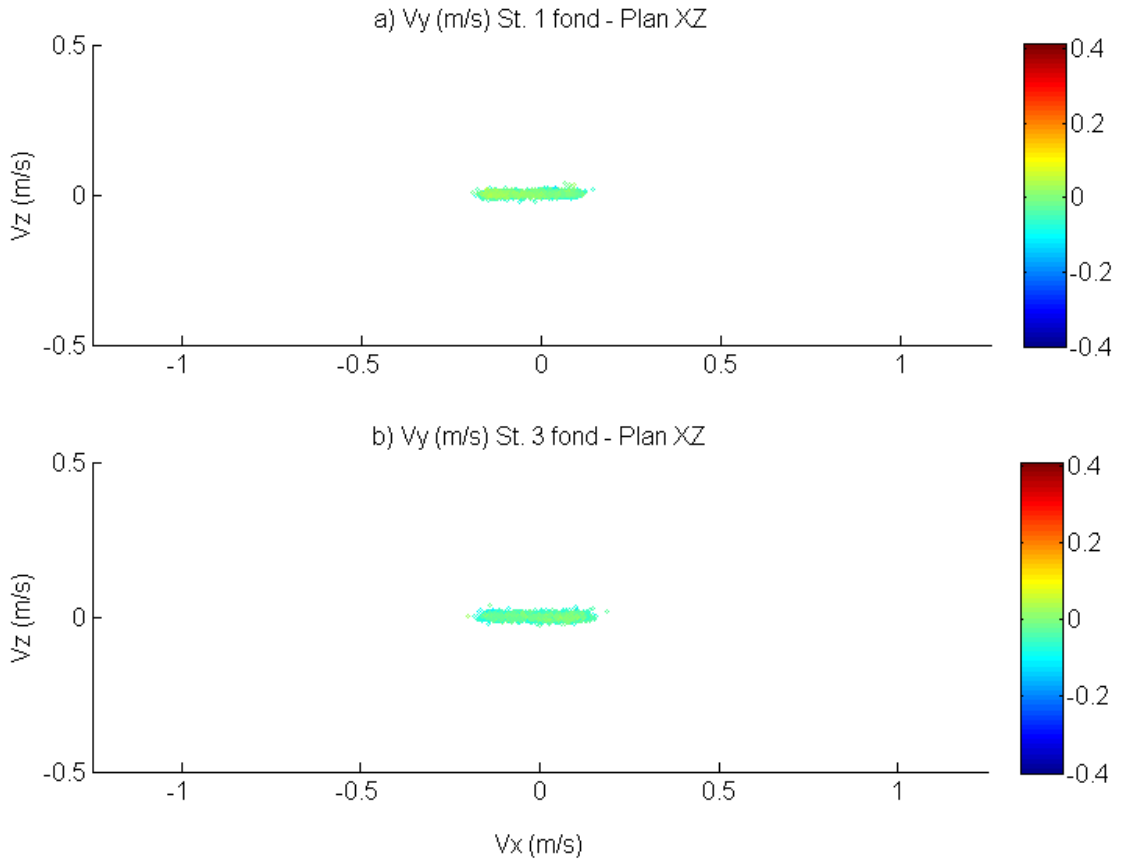


Figure 34. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino II situés au fond du canal aux stations a) 1 et b) 3 pour une profondeur (d) de 2,5 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 2 s (N=2500)

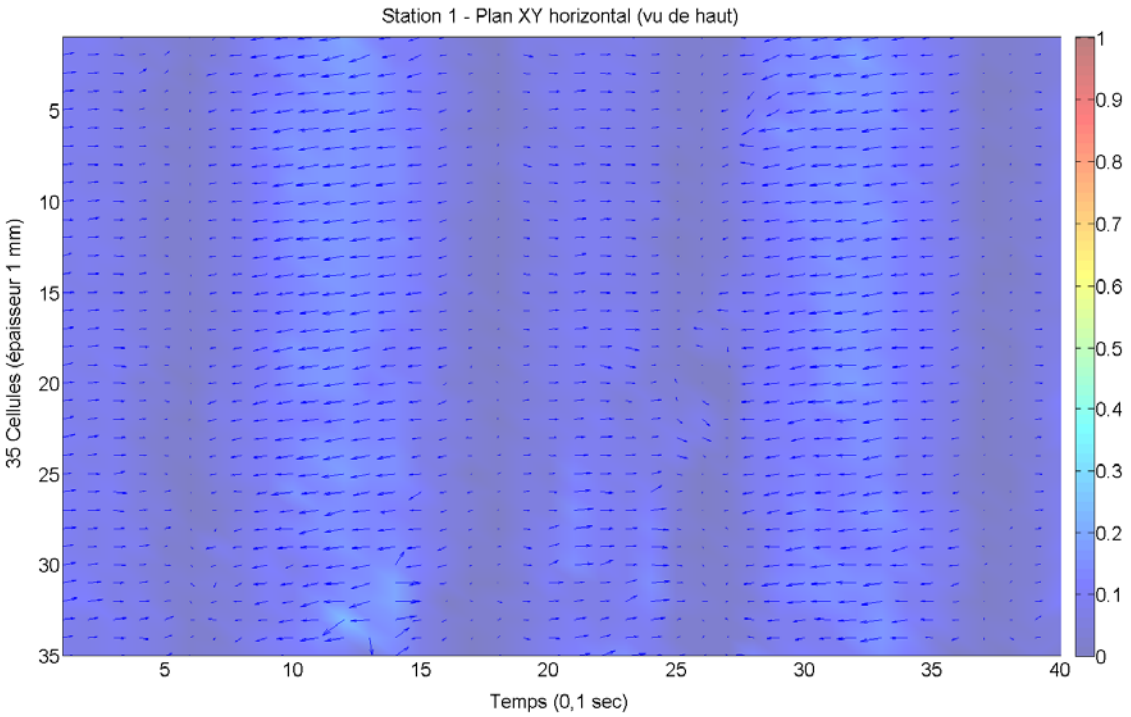


Figure 35. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XY) à la station 1 pour une profondeur (d) de 2,5 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 2 s (n = 2000 à 2039)

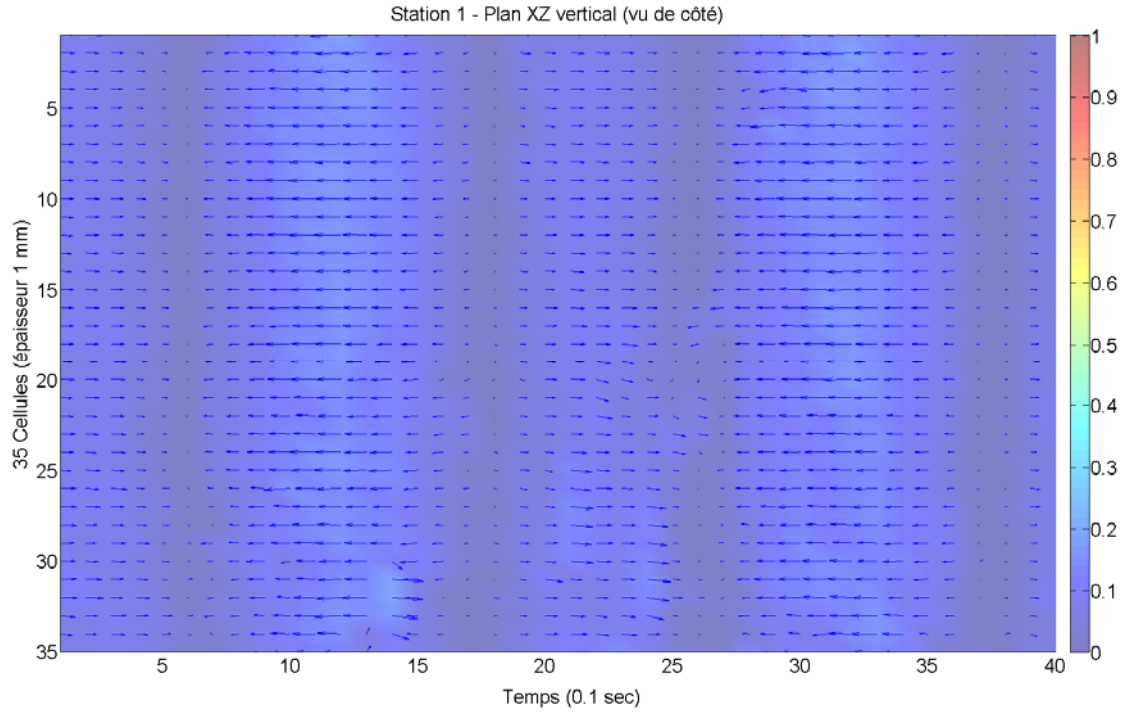


Figure 36. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan vertical (XZ) à la station 1 pour une profondeur (d) de 2,5 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 2 s (n = 2000 à 2039)

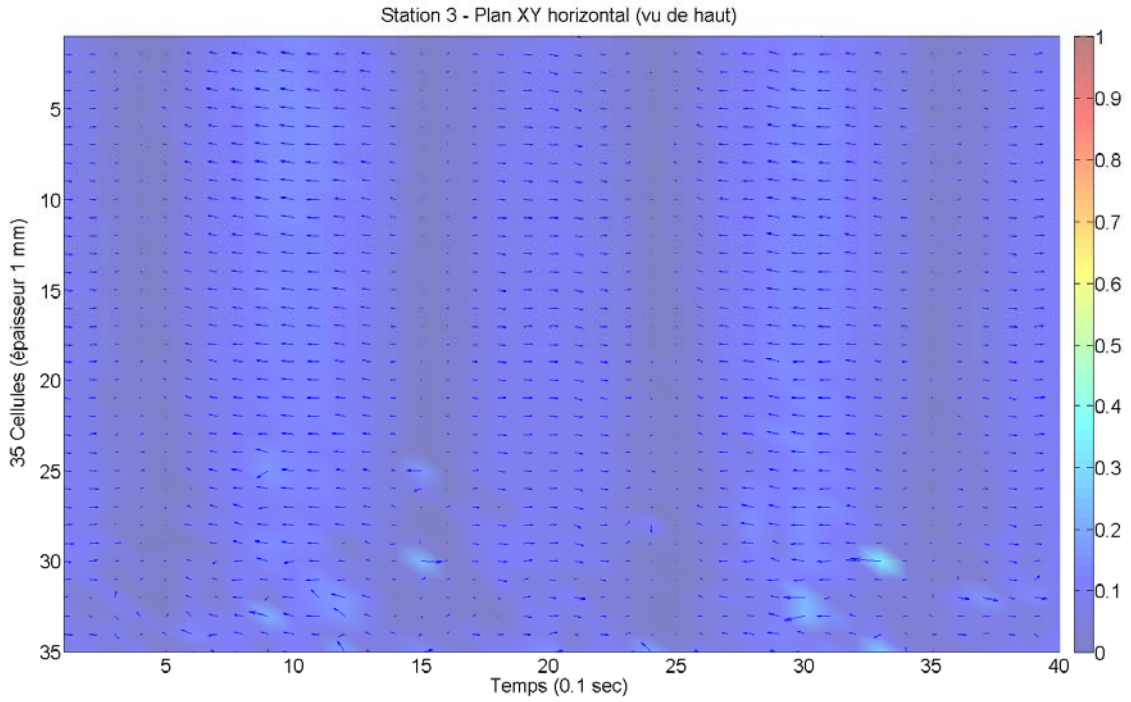


Figure 37. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XY) à la station 3 pour une profondeur (d) de 2,5 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 2 s (n = 2052 à 2091)

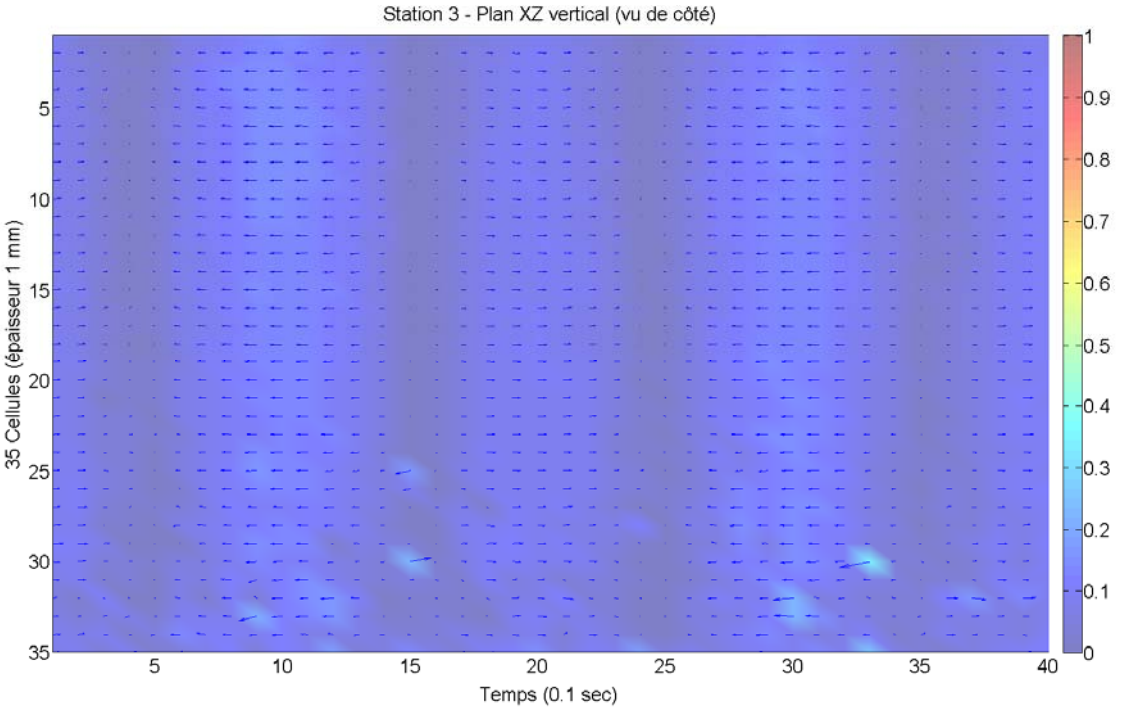


Figure 38. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan vertical (XZ) à la station 3 pour une profondeur (d) de 2,5 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 2 s (n = 2052 à 2091)

Période de 4 secondes:

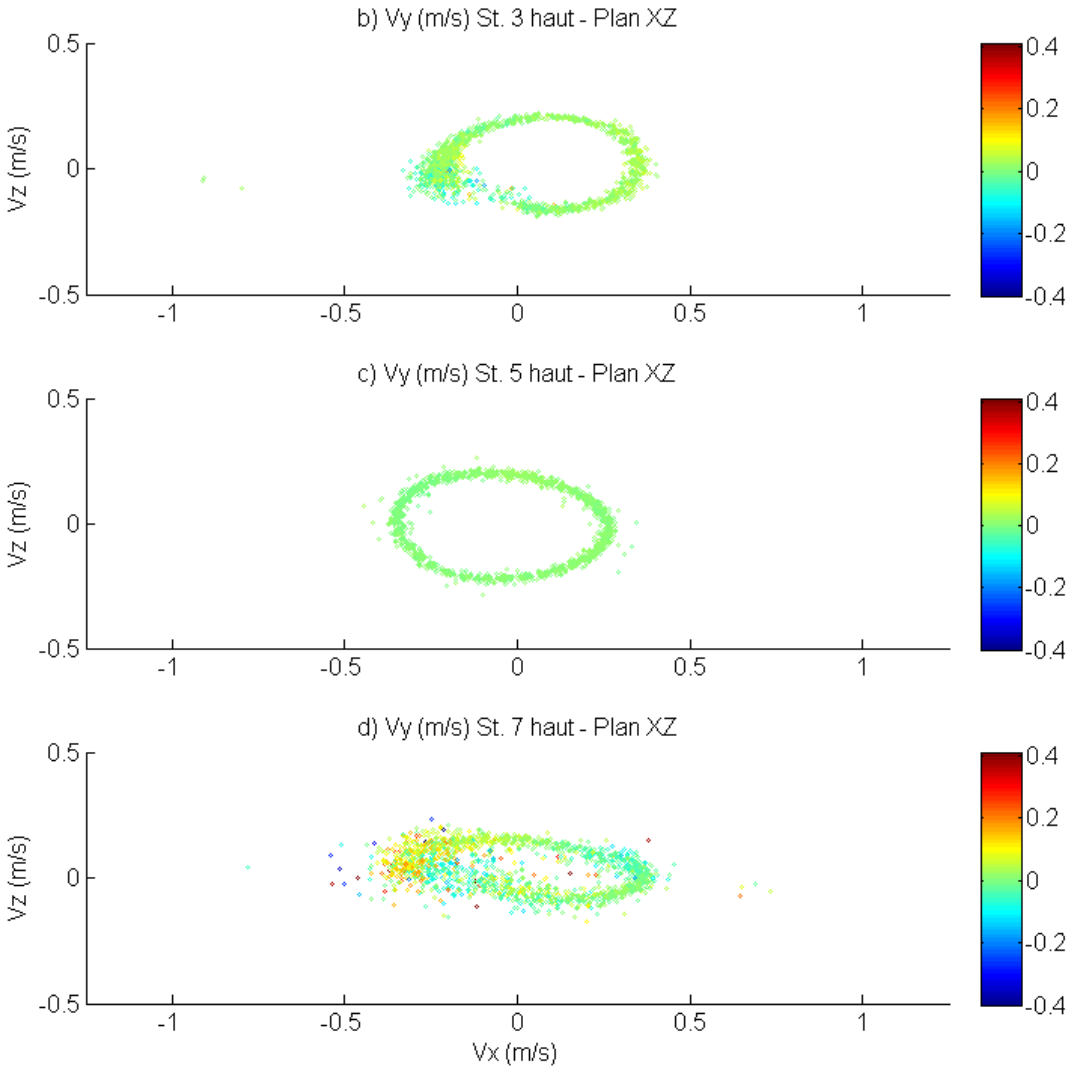


Figure 39. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino I situés en haut des quatre stations (a, b, c et d) pour une profondeur (d) de 2,5 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 4 s (N=1600)

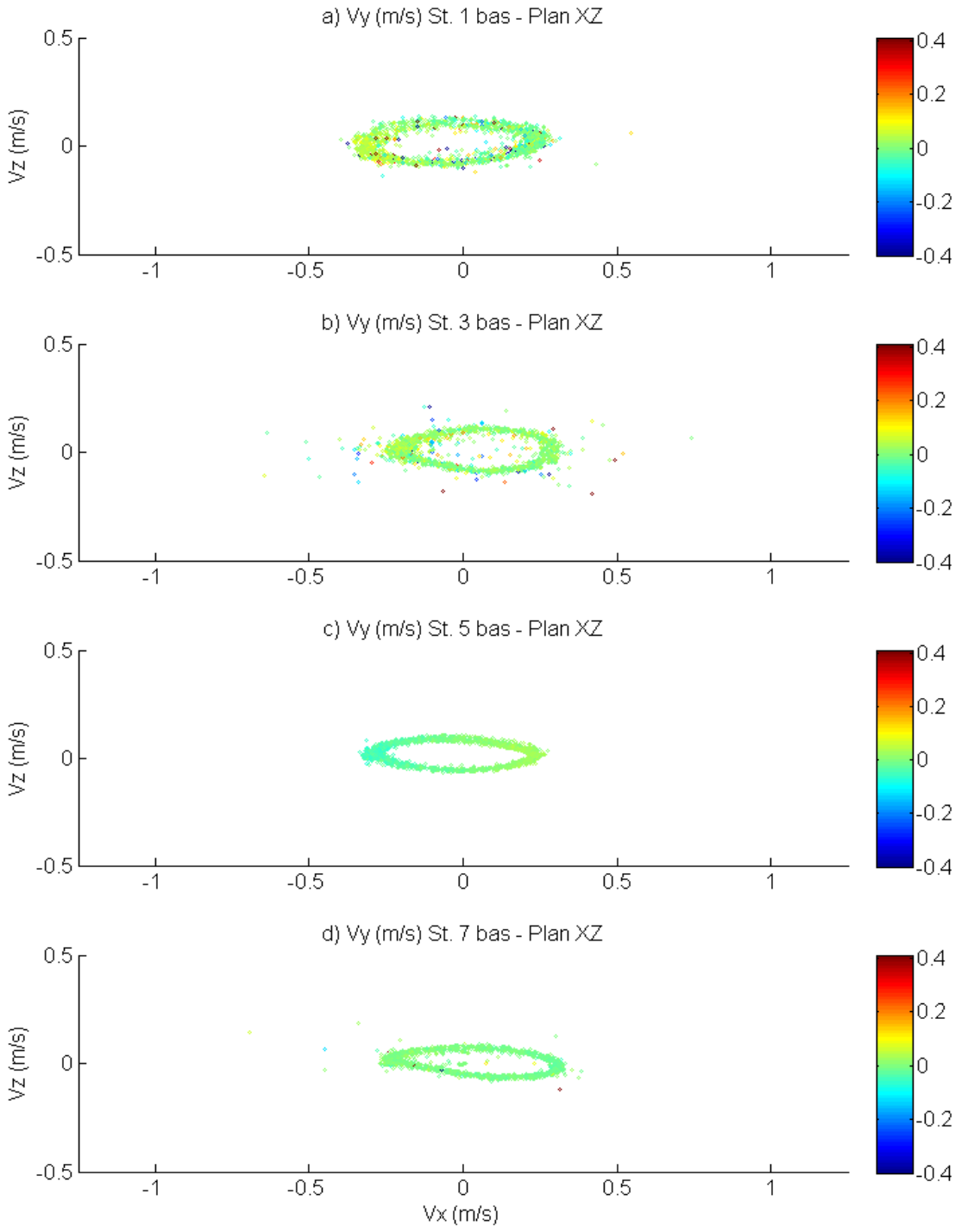


Figure 40. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino I situés au bas des quatre stations (a, b, c et d) pour une profondeur (d) de 2,5 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 4 s (N=1600)

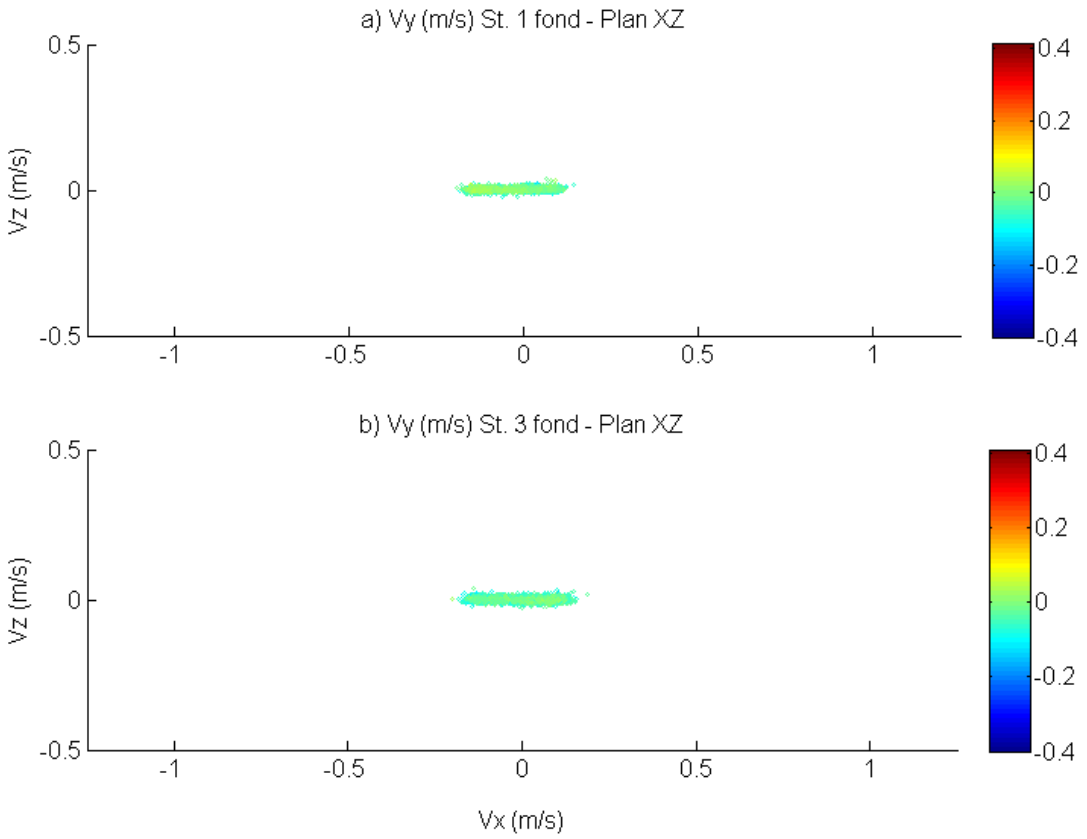


Figure 41. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino II situés au fond du canal aux stations a) 1 et b) 3 pour une profondeur (d) de 2,5 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 4 s (N=1600)

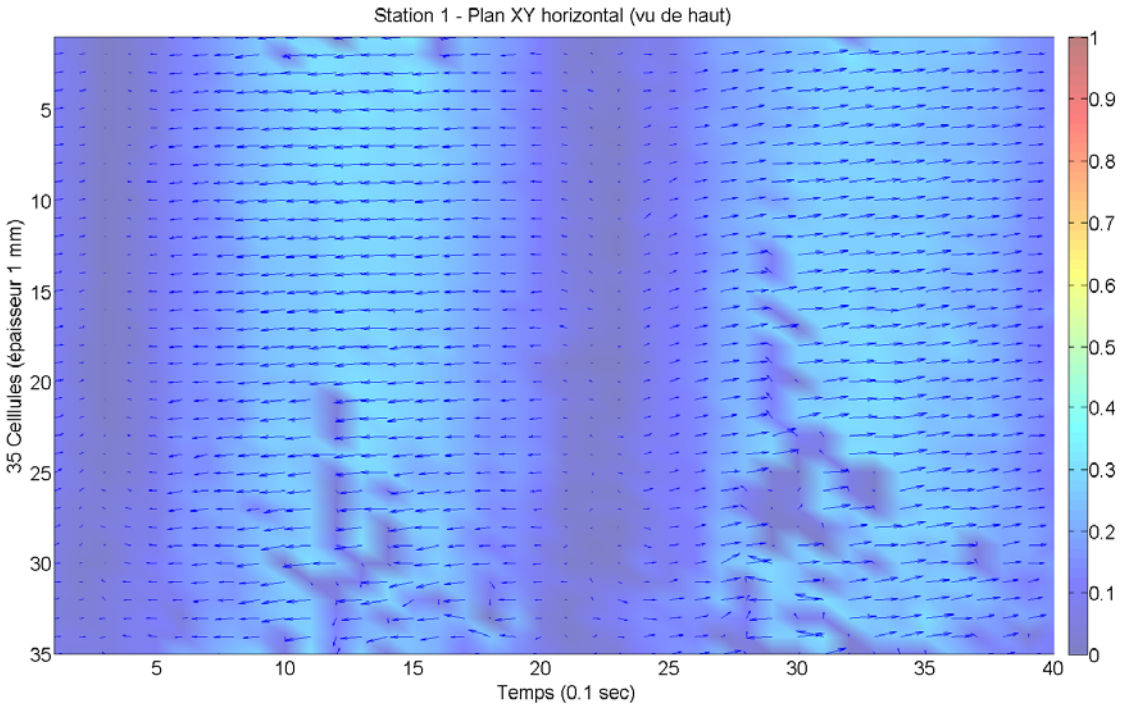


Figure 42. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XY) à la station 1 pour une profondeur (d) de 2,5 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 4 s (n = 2060 à 2099)

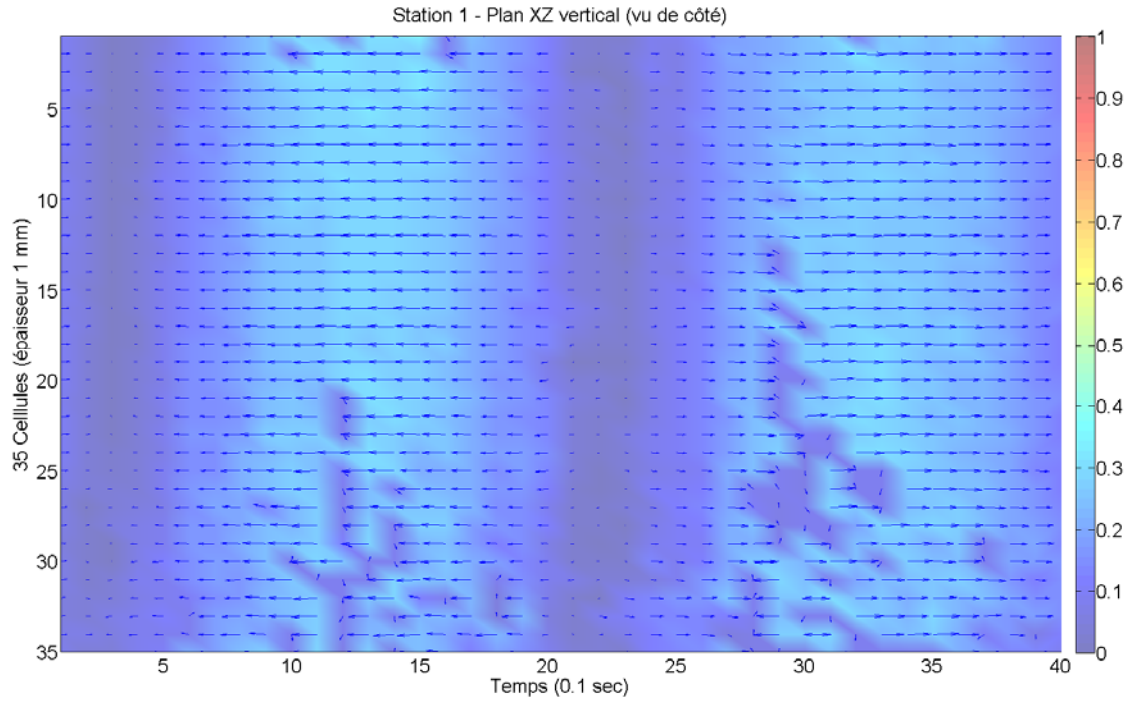


Figure 43. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan vertical (XZ) à la station 1 pour une profondeur (d) de 2,5 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 4 s (n = 2060 à 2099)

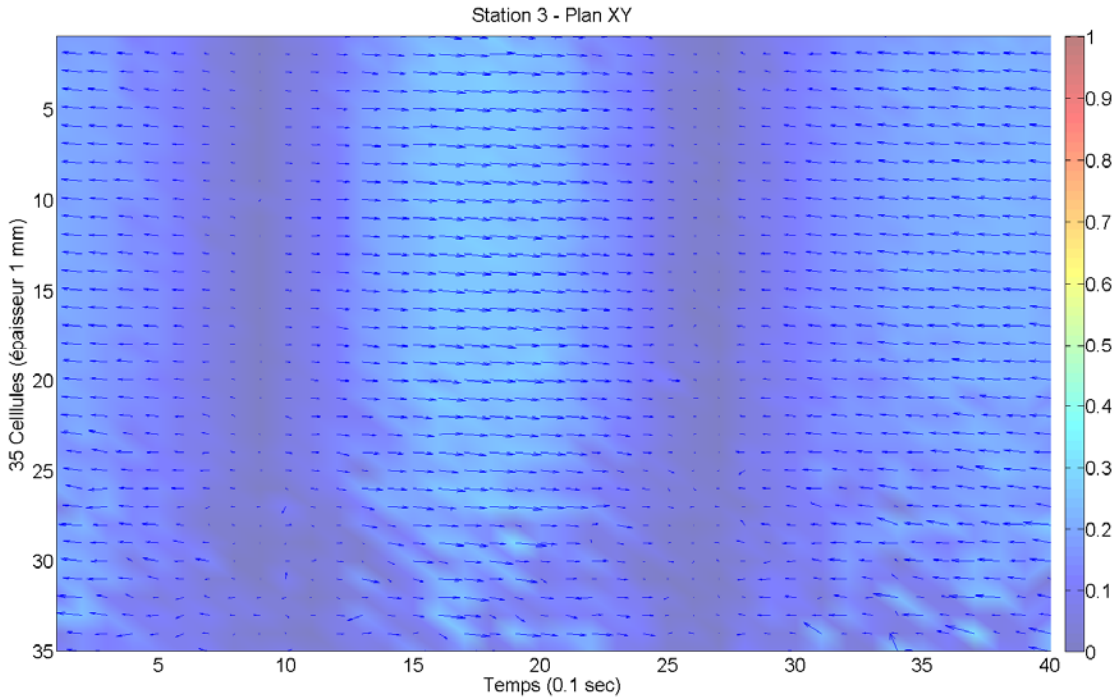


Figure 44. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XY) à la station 3 pour une profondeur (d) de 2,5 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 4 s (n = 2086 à 2125)

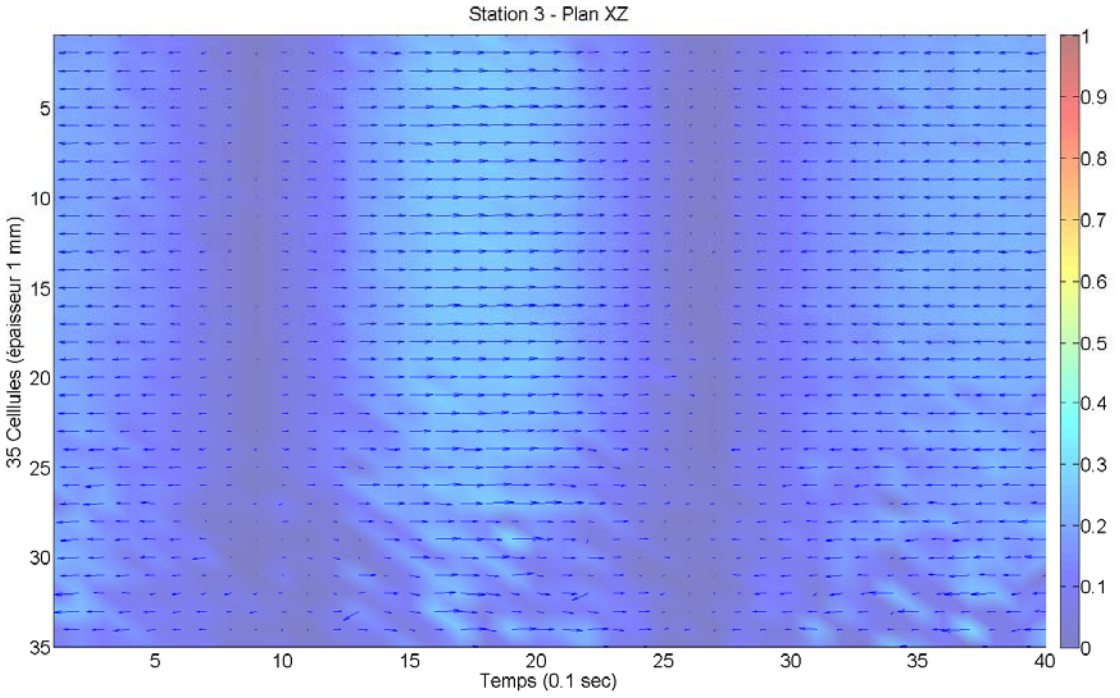


Figure 45. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan vertical (XZ) à la station 3 pour une profondeur (d) de 2,5 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 4 s (n = 2086à 2125)

Période de 6 secondes:

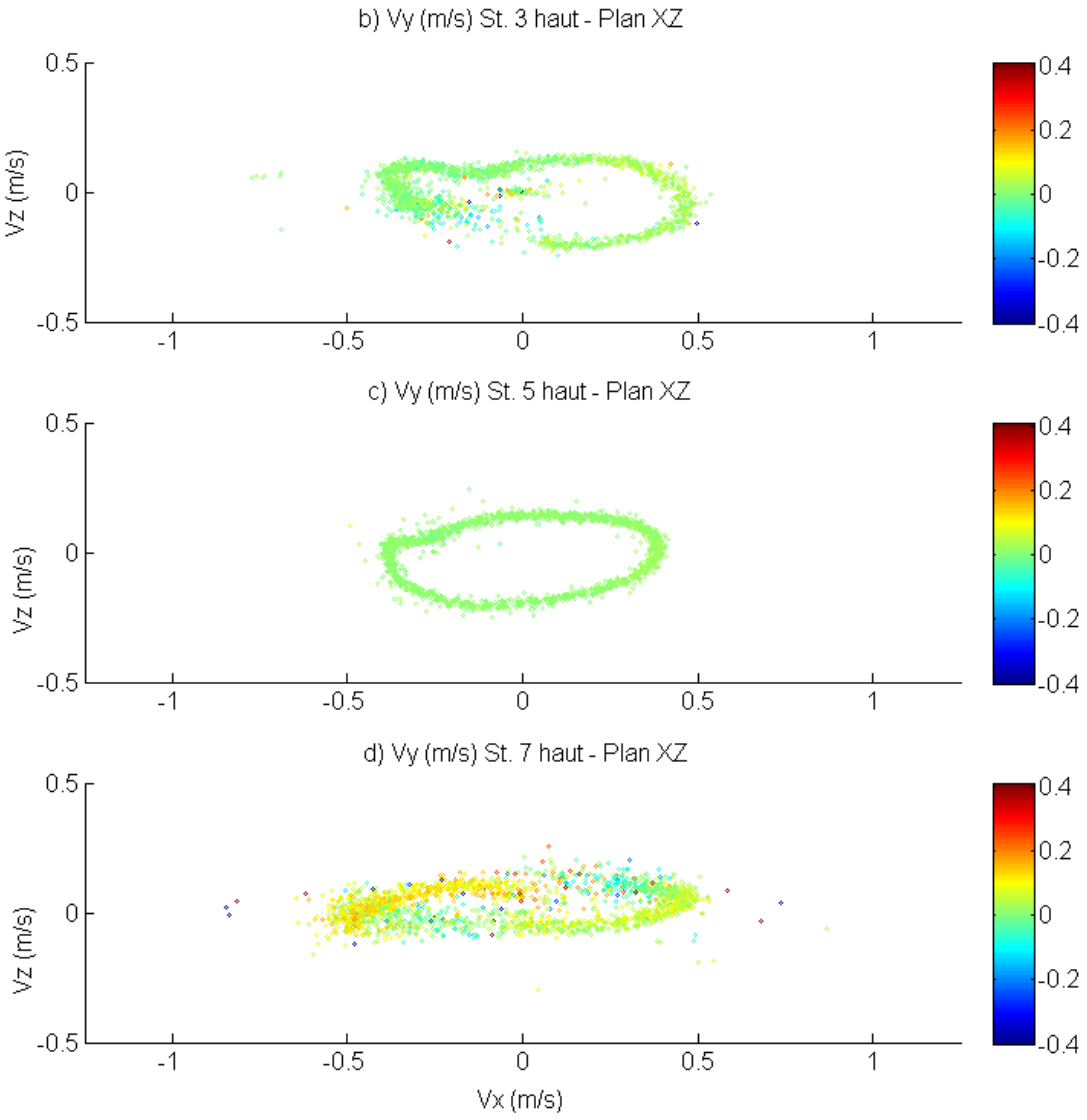


Figure 46. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino I situés en haut des quatre stations (a, b, c et d) pour une profondeur (d) de 2,5 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 6 s (N=2000)

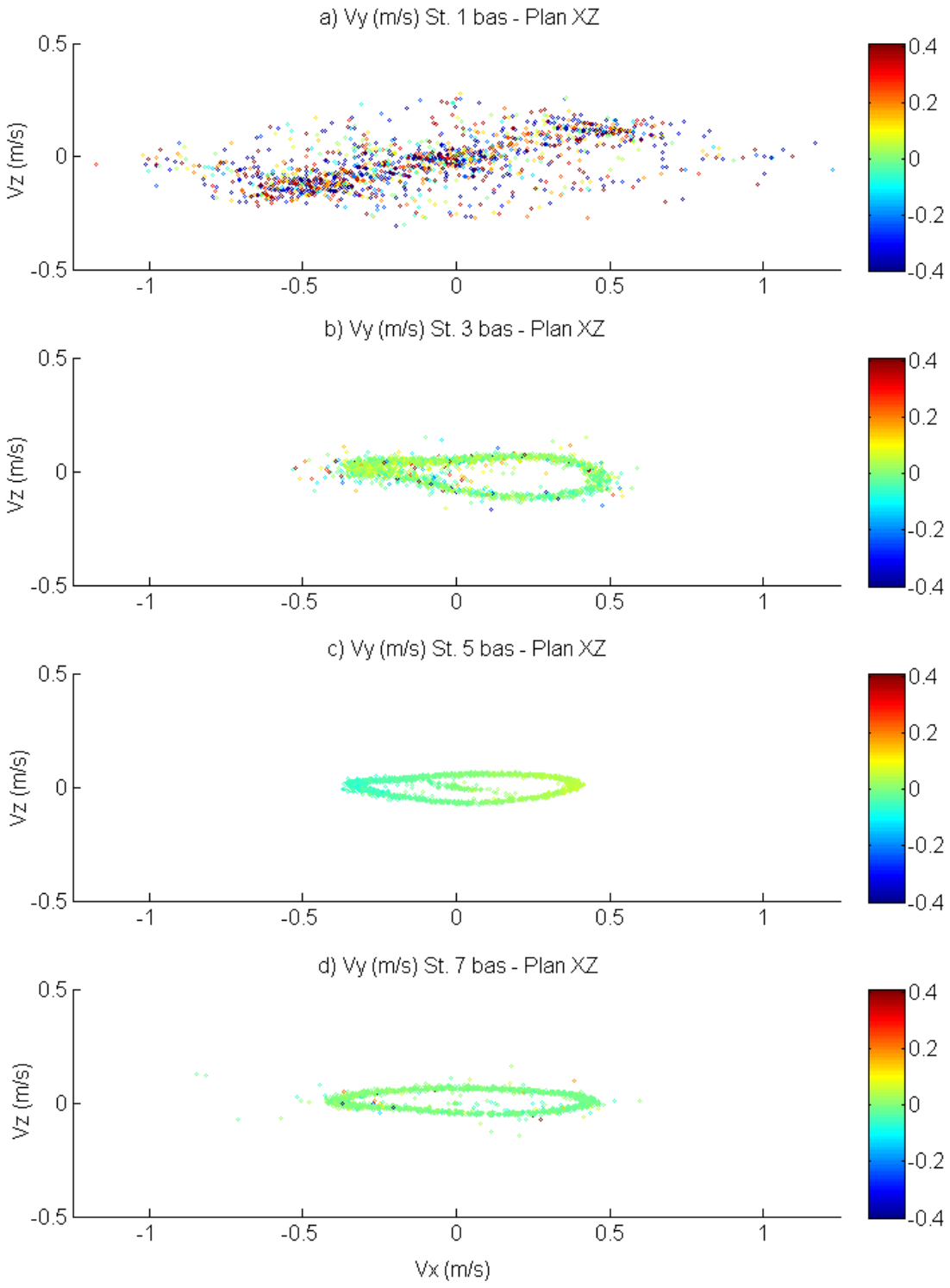


Figure 47. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino I situés au bas des quatre stations (a, b, c et d) pour une profondeur (d) de 2,5 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 6 s (N=2000)

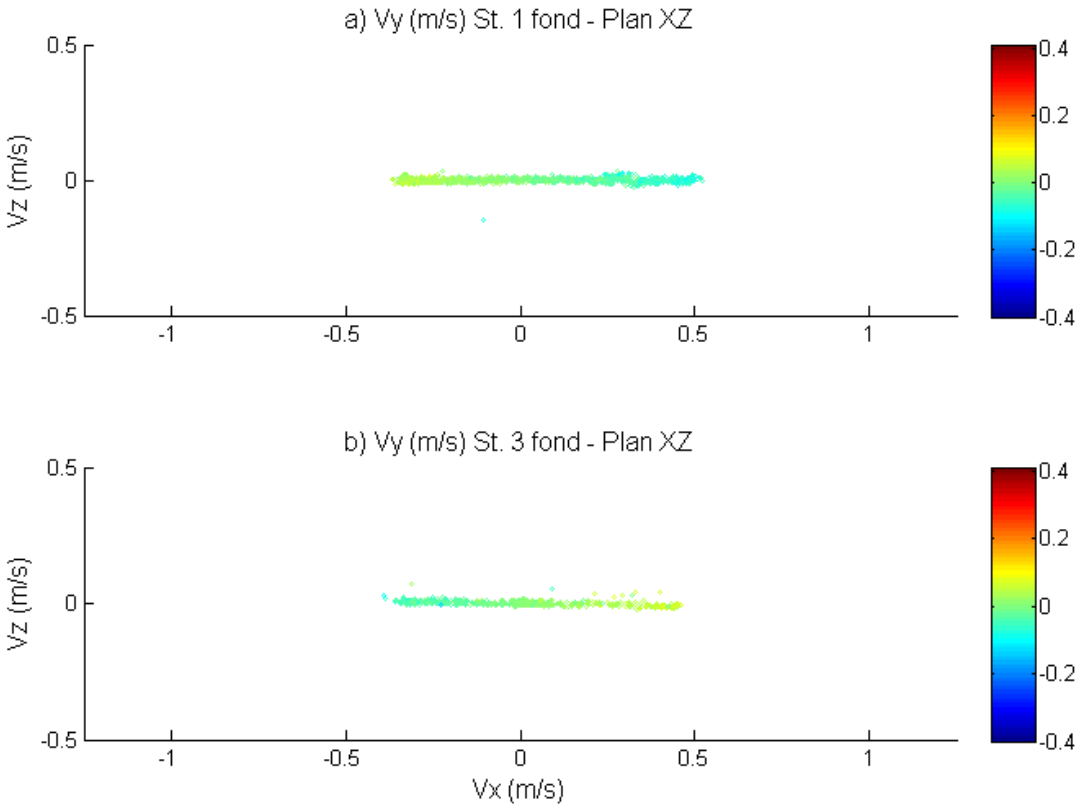


Figure 48. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino II situés au fond du canal aux stations a) 1 et b) 3 pour une profondeur (d) de 2,5 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 6 s (N=800)

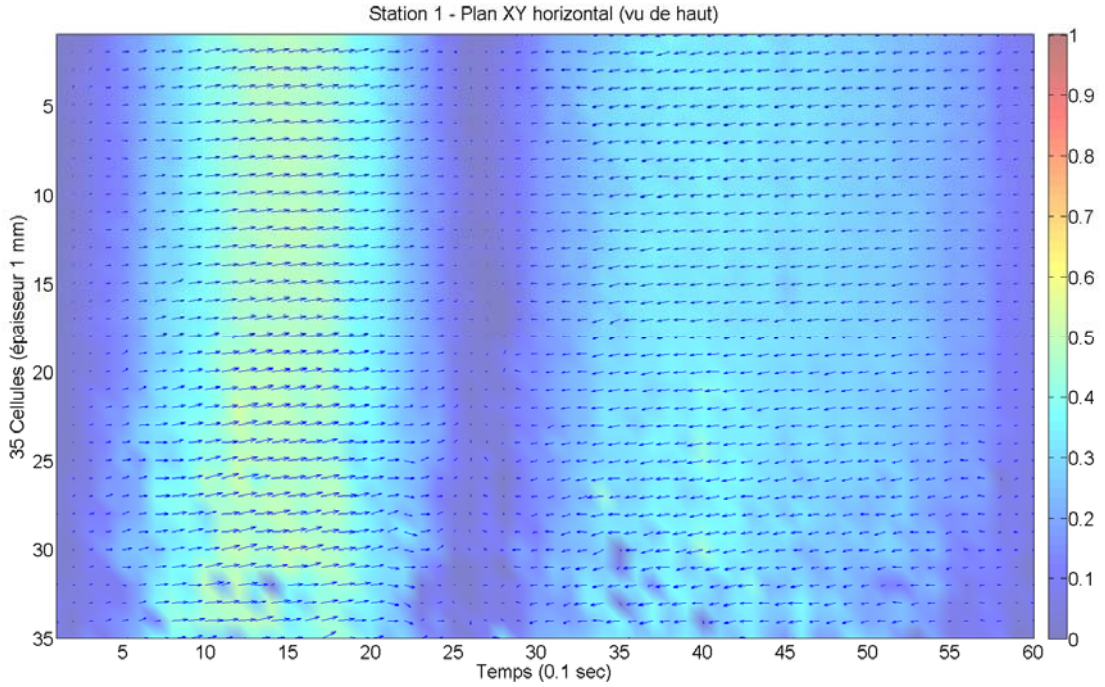


Figure 49. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XY) à la station 1 pour une profondeur (d) de 2,5 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 6 s (n = 990 à 1049)

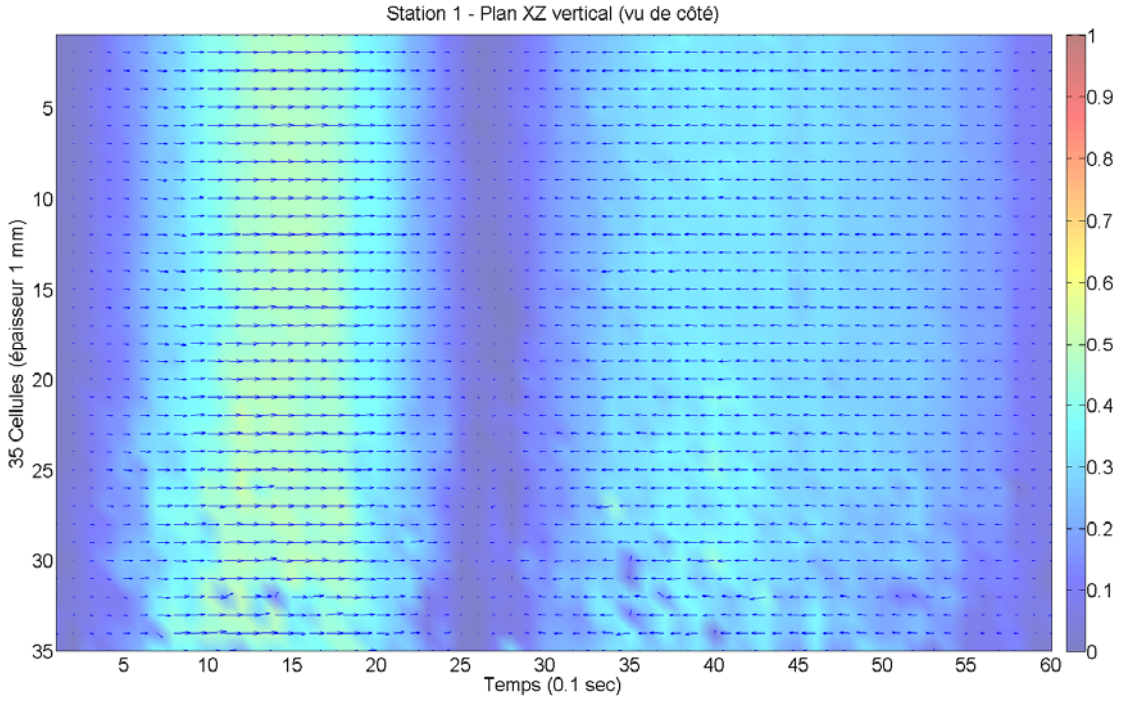


Figure 50. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan vertical (XZ) à la station 1 pour une profondeur (d) de 2,5 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 6 s (n = 990 à 1049)

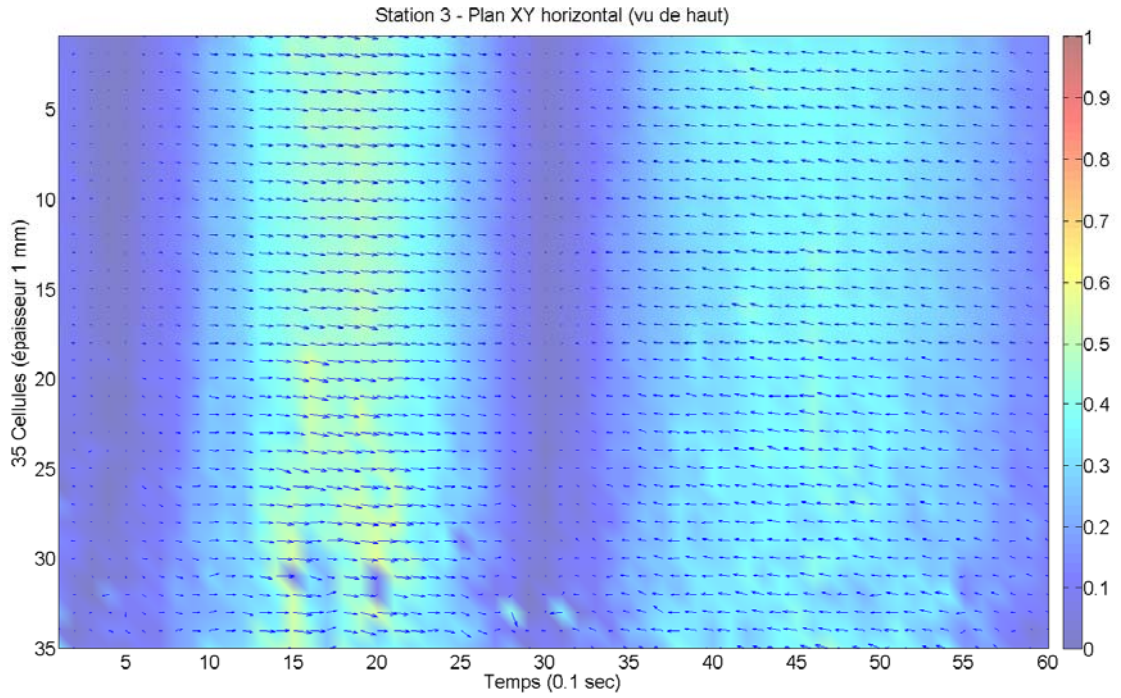


Figure 51. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XY) à la station 3 pour une profondeur (d) de 2,5 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 6 s (n = 3043 à 3102)

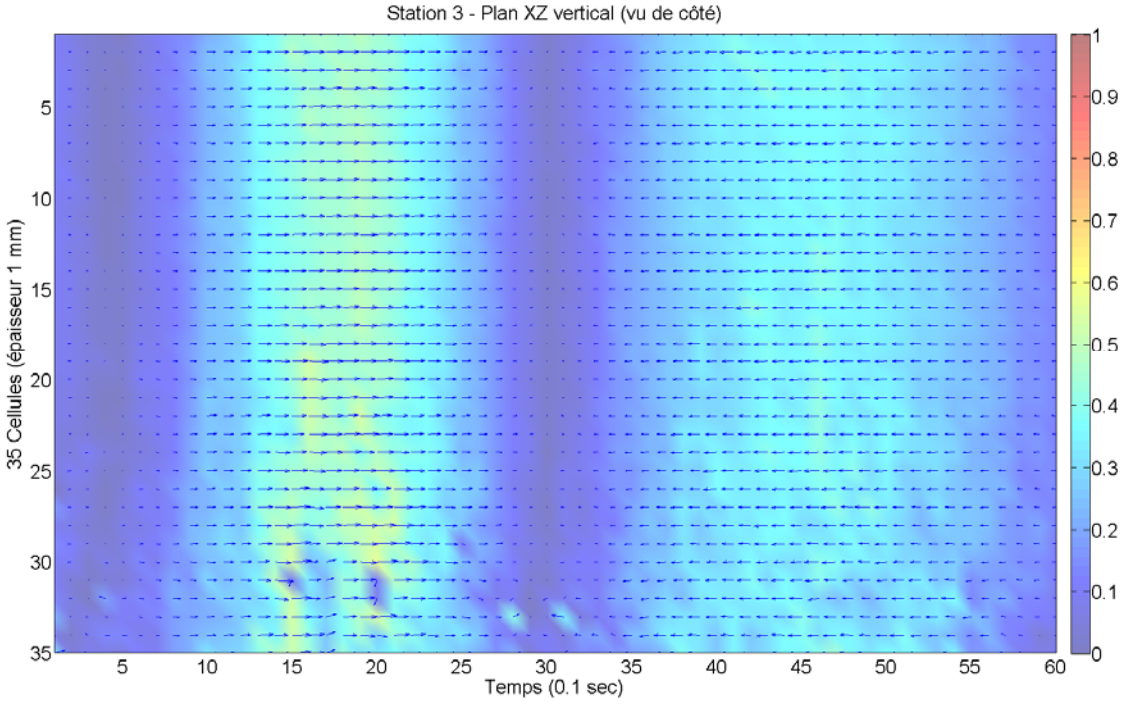


Figure 52. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan vertical (XZ) à la station 3 pour une profondeur (d) de 2,5 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 6 s (n = 3043 à 3102)

Période de 8 secondes:

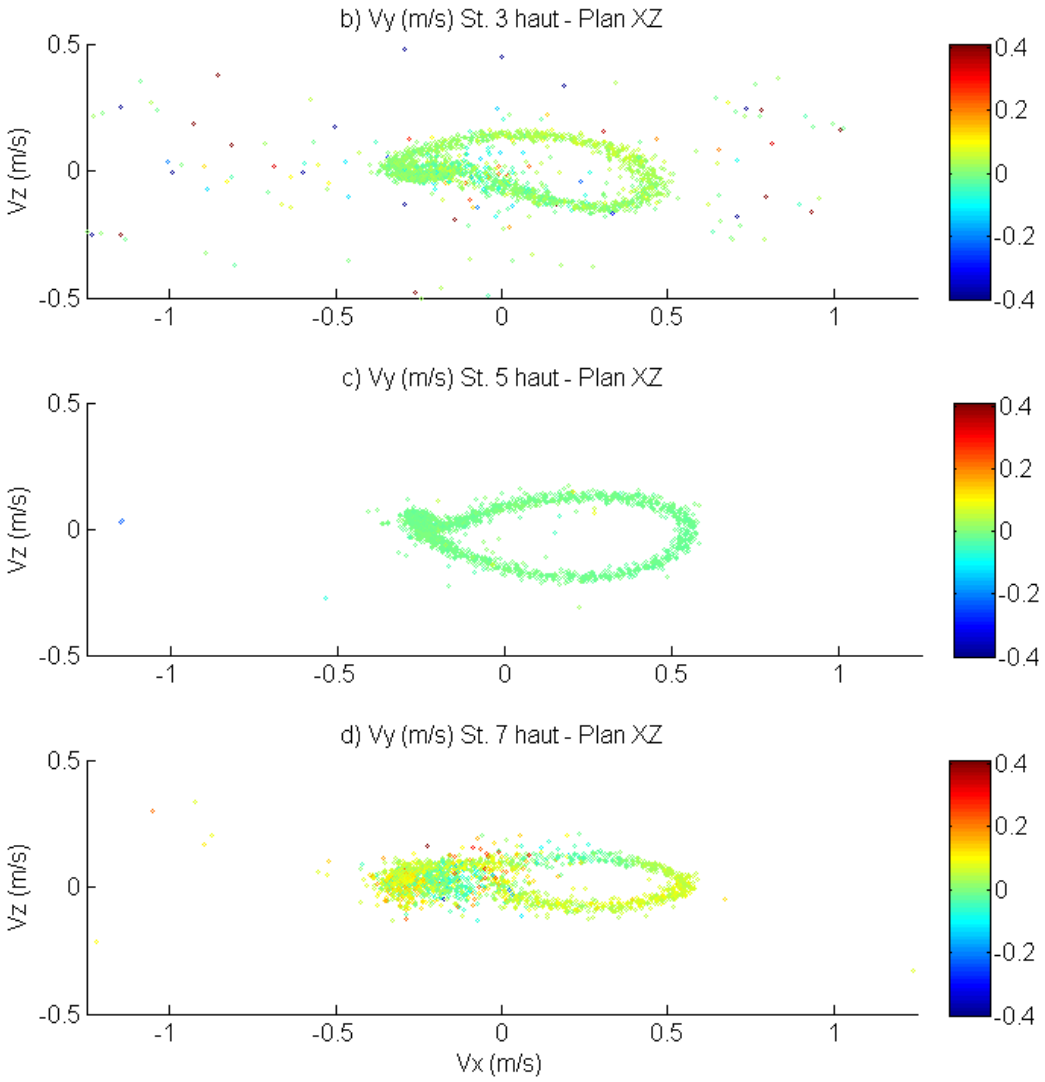


Figure 53. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino I situés en haut des quatre stations (a, b, c et d) pour une profondeur (d) de 2,5 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 8 s (N=2000)

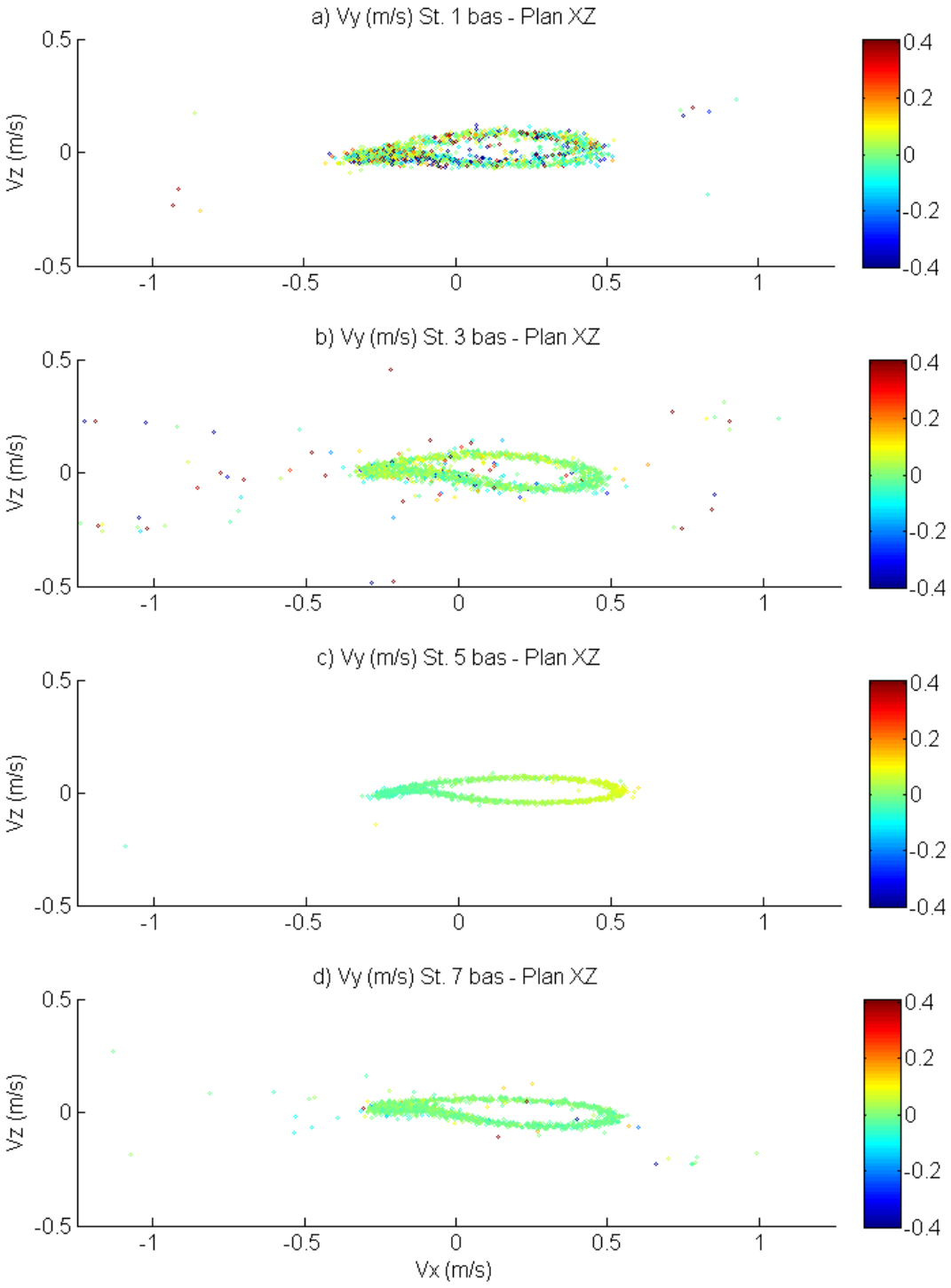


Figure 54. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino I situés au bas des quatre stations (a, b, c et d) pour une profondeur (d) de 2,5 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 8 s (N=2000)

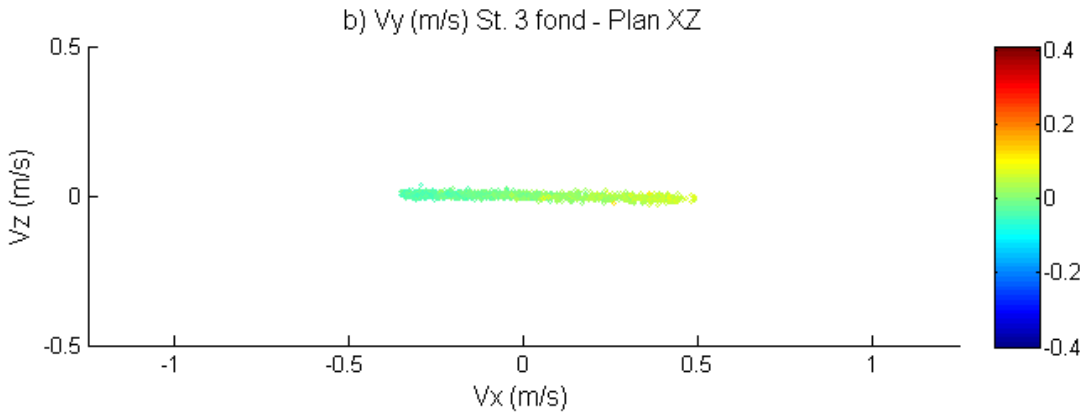


Figure 55. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino II situés au fond du canal aux stations a) 1 (données manquantes) et b) 3 pour une profondeur (d) de 2,5 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 8 s (N=2000)

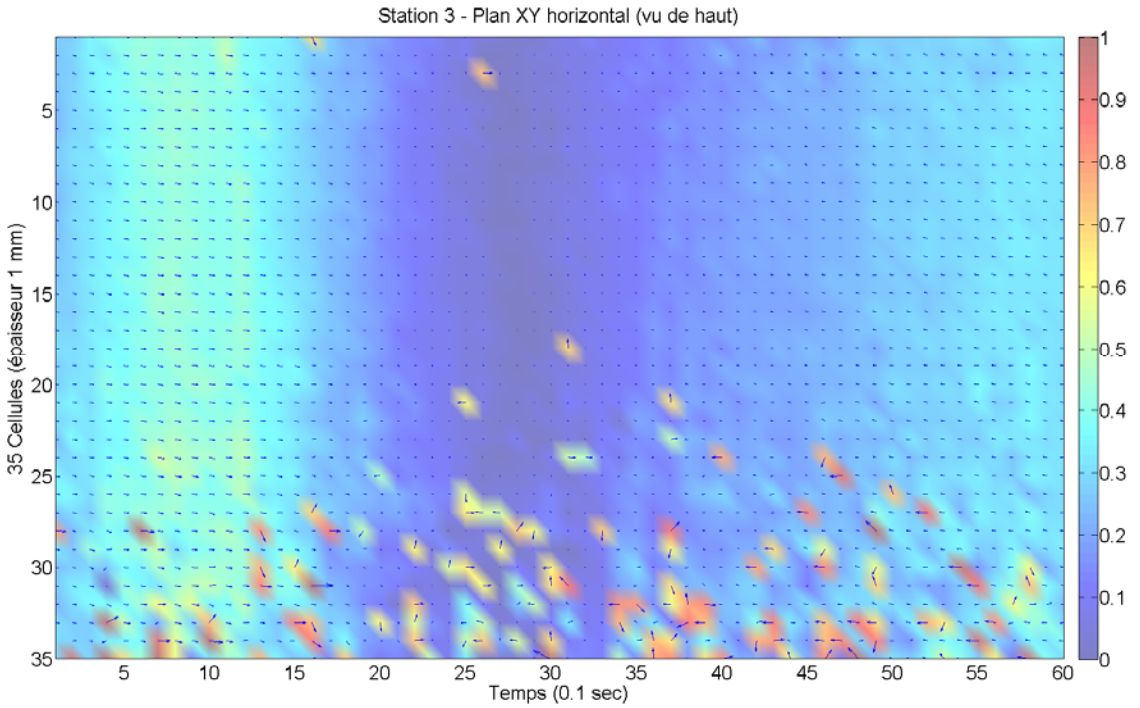


Figure 56. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XY) à la station 3 pour une profondeur (d) de 2,5 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 8 s (n = 2490 à 2549)

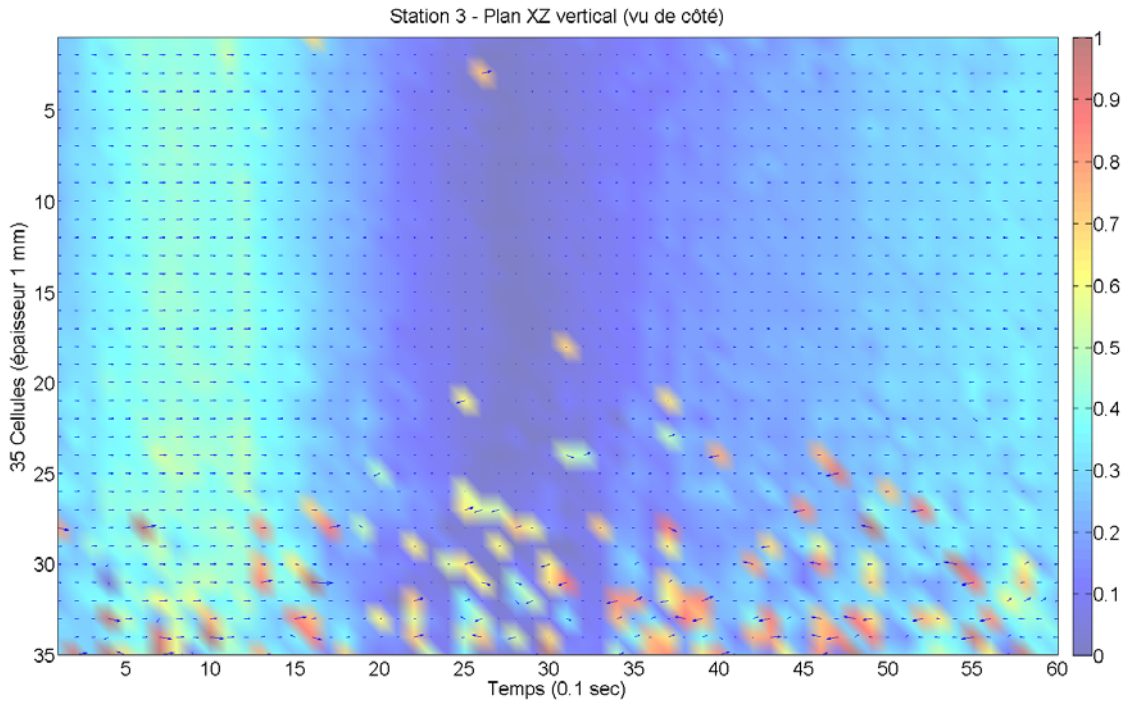


Figure 57. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan vertical (XZ) à la station 3 pour une profondeur (d) de 2,5 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 8 s (n = 2490 à 2549)

Période de 10 secondes:

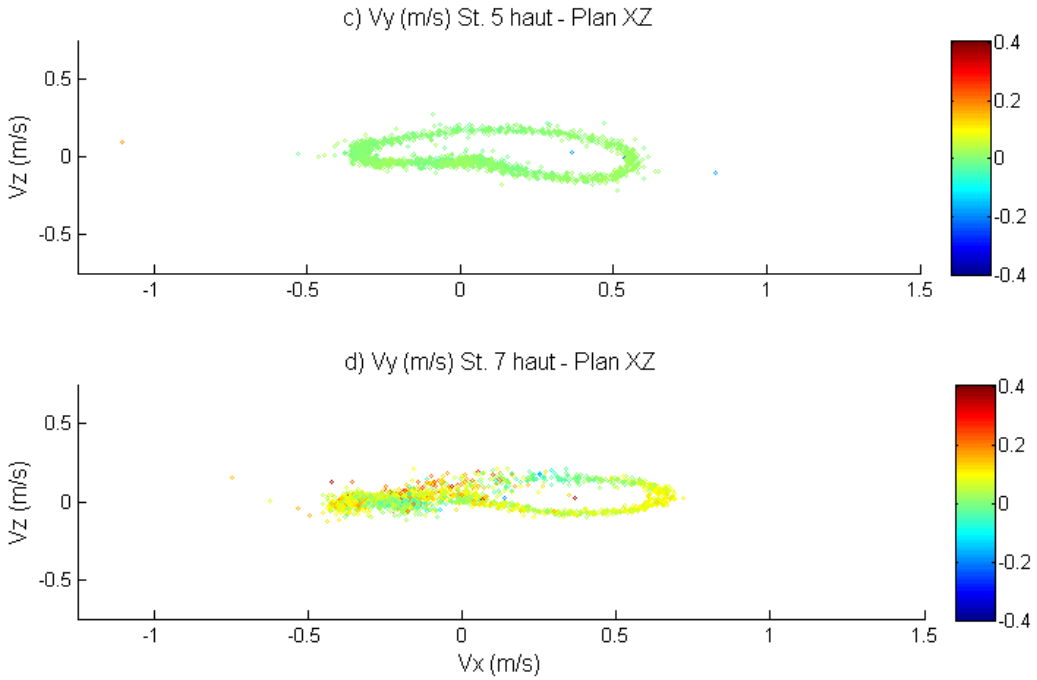


Figure 58. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino I situés en haut des quatre stations (a, b, c et d) pour une profondeur (d) de 2,5 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 10 s (N=2000)

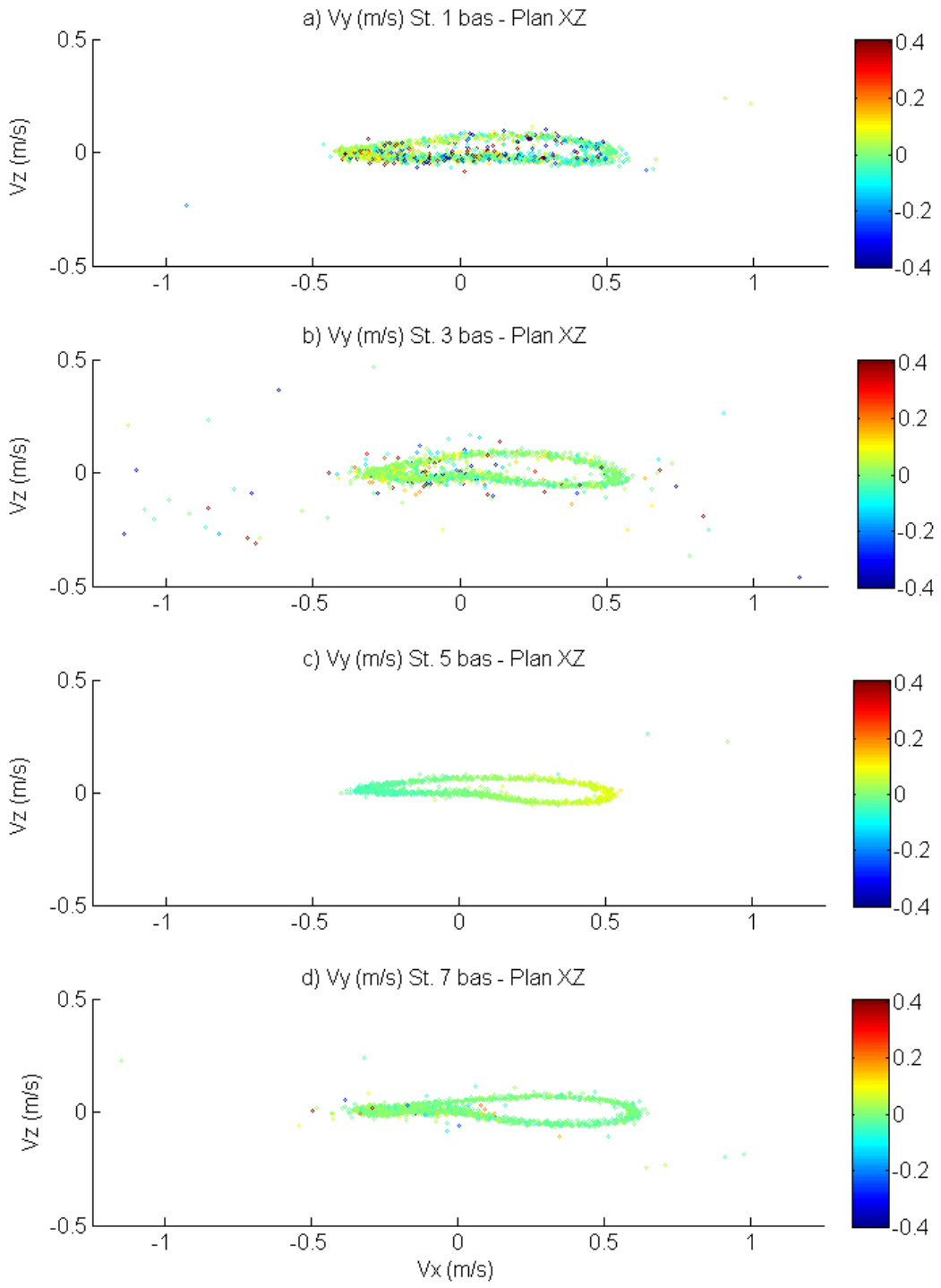


Figure 59. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino I situés au bas des quatre stations (a, b, c et d) pour une profondeur (d) de 2,5 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 10 s (N=2000)

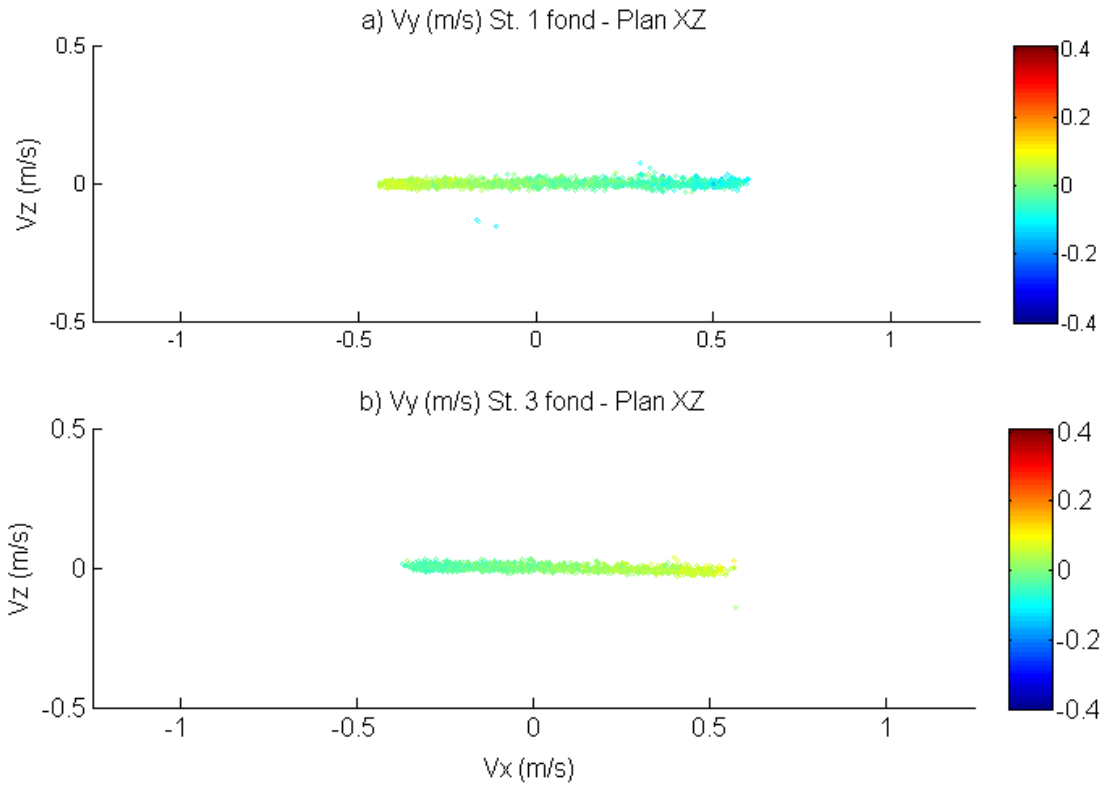


Figure 60. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino II situés au fond du canal aux stations a) 1 et b) 3 pour une profondeur (d) de 2,5 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 10 s (N=2000)

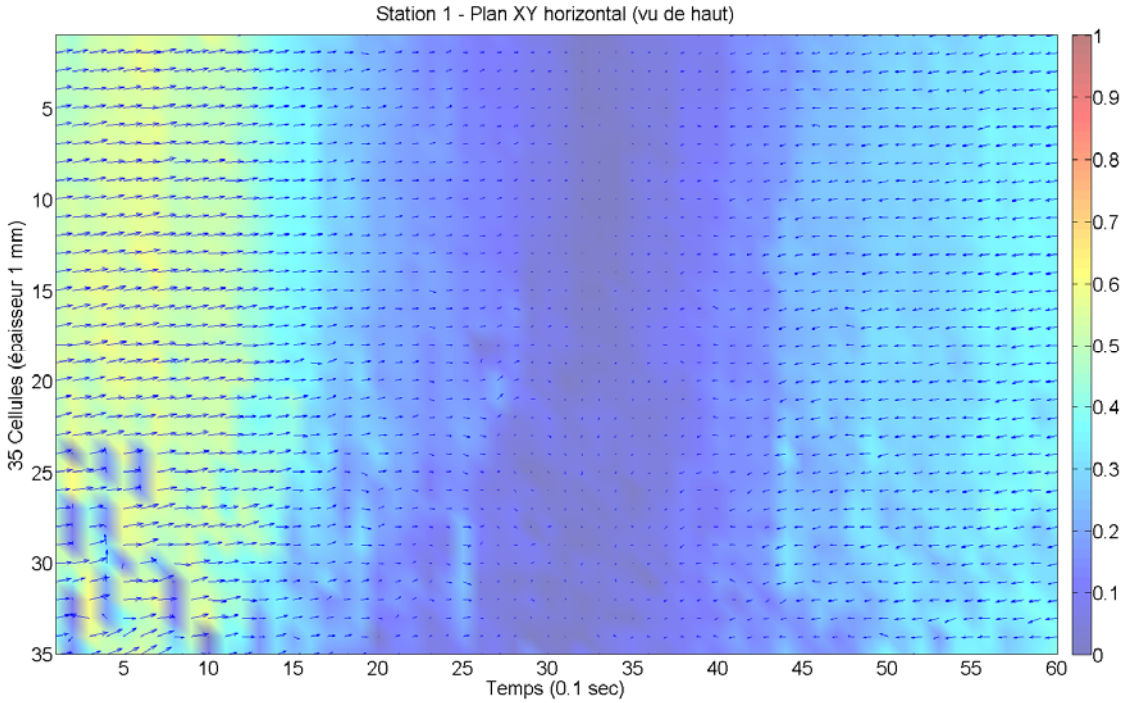


Figure 61. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XY) à la station 1 pour une profondeur (d) de 2,5 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 10 s (n = 1950 à 2009)

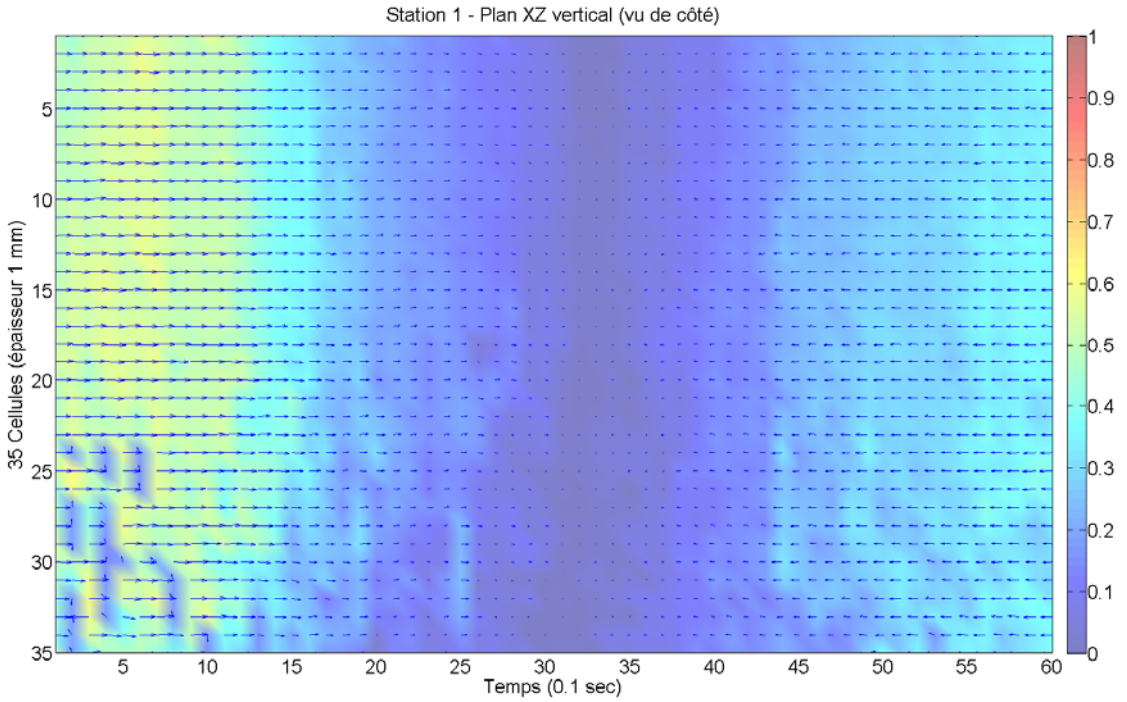


Figure 62. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan vertical (XZ) à la station 1 pour une profondeur (d) de 2,5 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 10 s (n = 1950 à 2009)

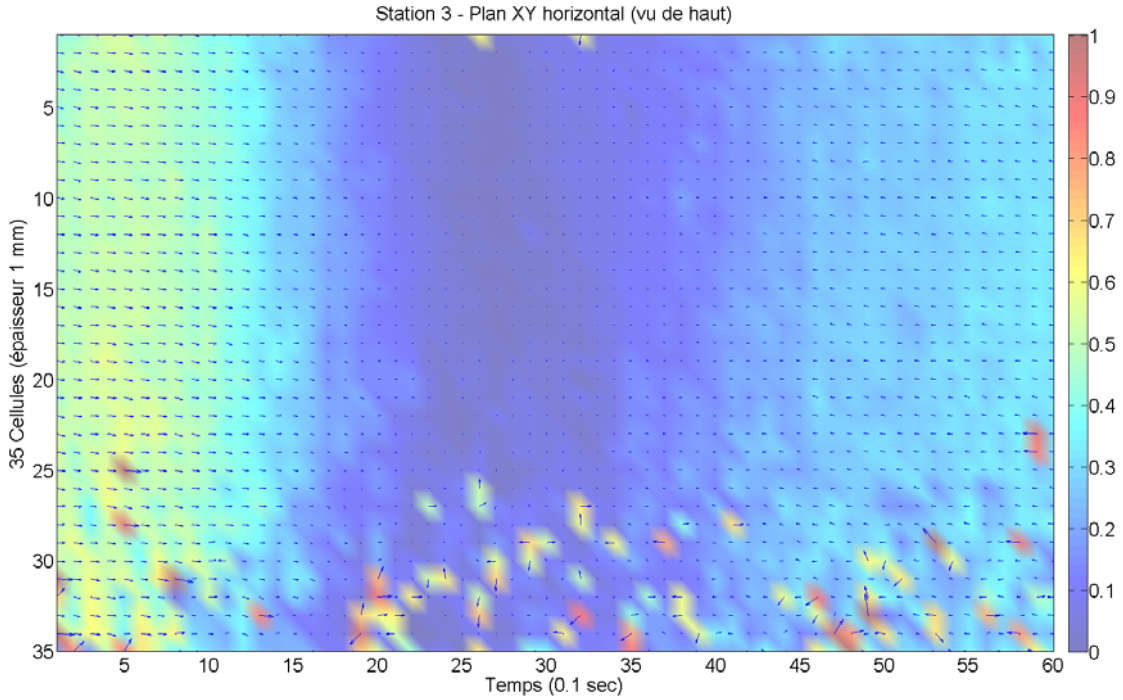


Figure 63. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XY) à la station 3 pour une profondeur (d) de 2,5 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 10 s (n = 1970 à 2029)

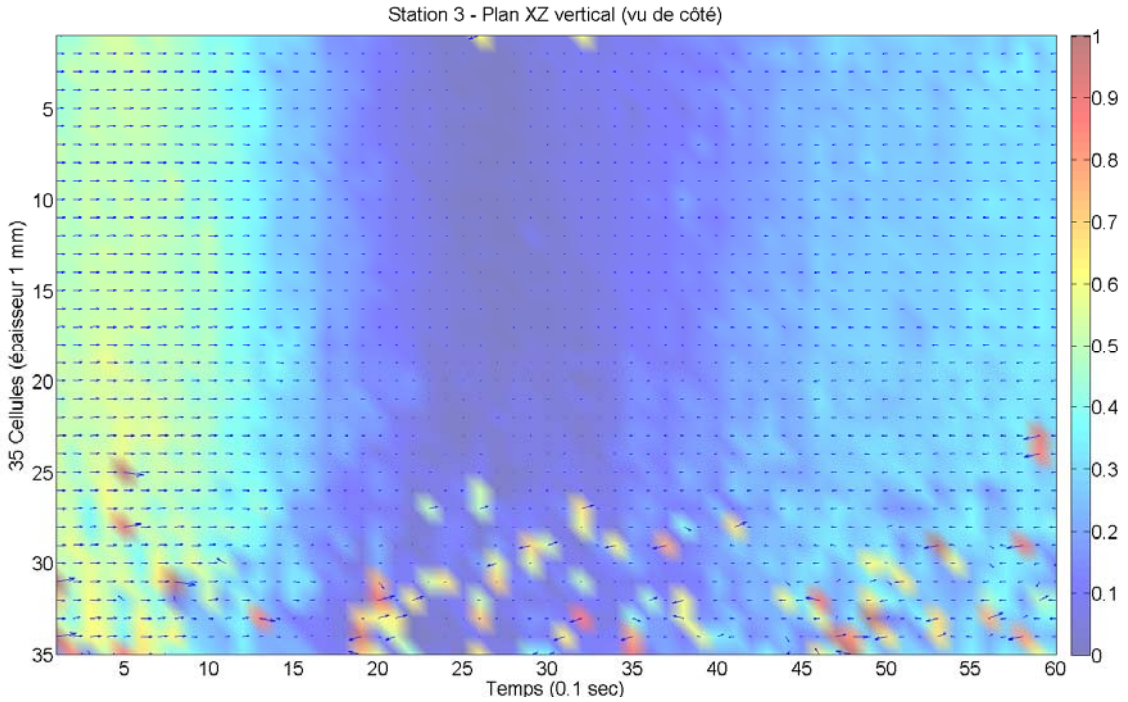


Figure 64. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan vertical (XZ) à la station 3 pour une profondeur (d) de 2,5 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 10 s (n = 1970 à 2029)

5.2.2 Profondeur d'eau (d) de 2,5 mètres et hauteur de vague (H) de 1 mètre

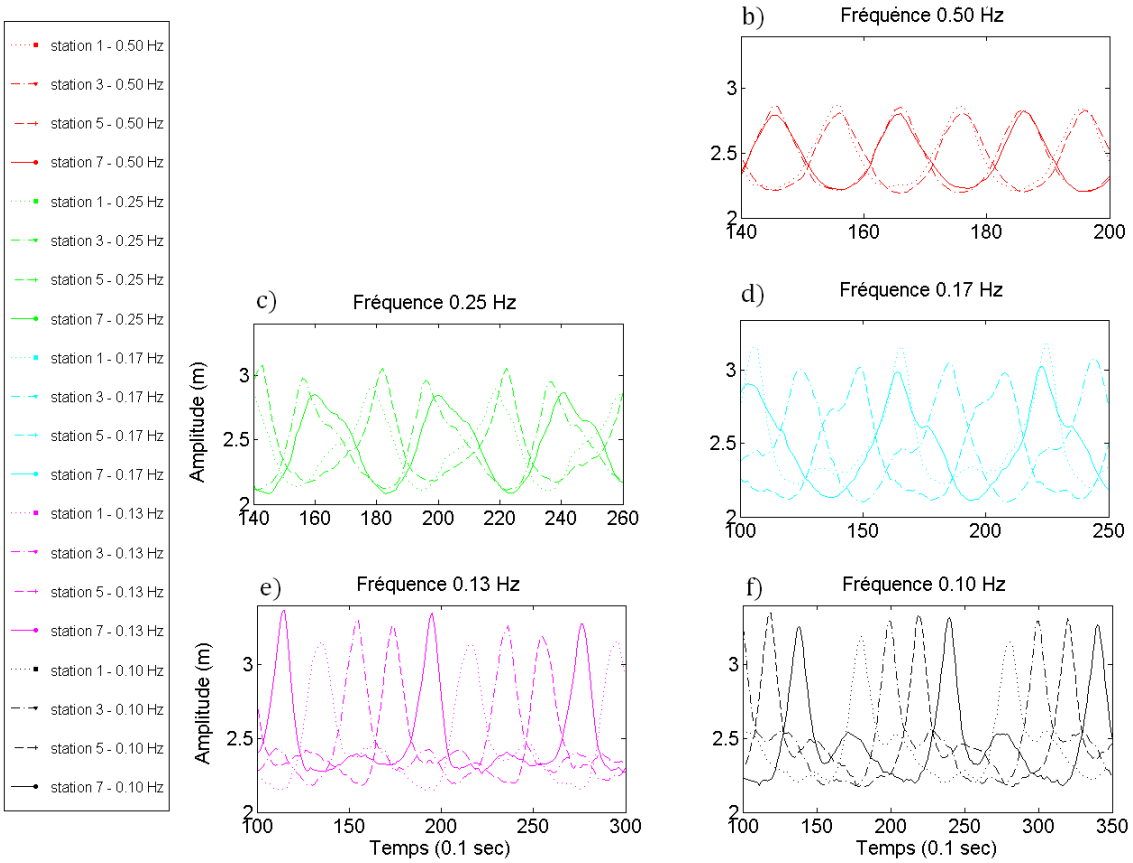


Figure 65. Niveaux d'eau enregistrés aux stations 1, 3, 5 et 7 pour une profondeur d'eau de 2,5 mètres, des vagues de 1 mètre de hauteur et des périodes de 2, 4, 6, 8 et 10 secondes respectivement

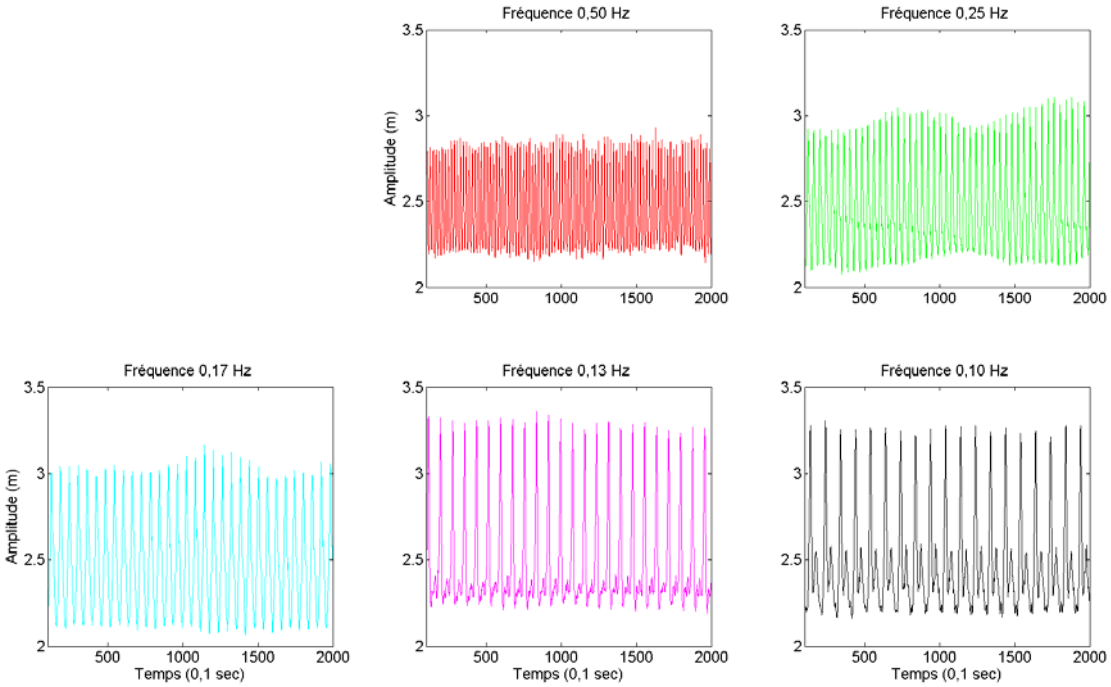


Figure 66. Niveaux d'eau enregistrés à la station 7 pour une profondeur d'eau de 2.5 mètres, des vagues de 1 mètre de hauteur et des périodes de 2, 4, 6, 8 et 10 secondes respectivement (1,5 seconde manquant)

Note : Plus difficile d'atteindre 1 mètre de hauteur de vague à 0.50 Hz

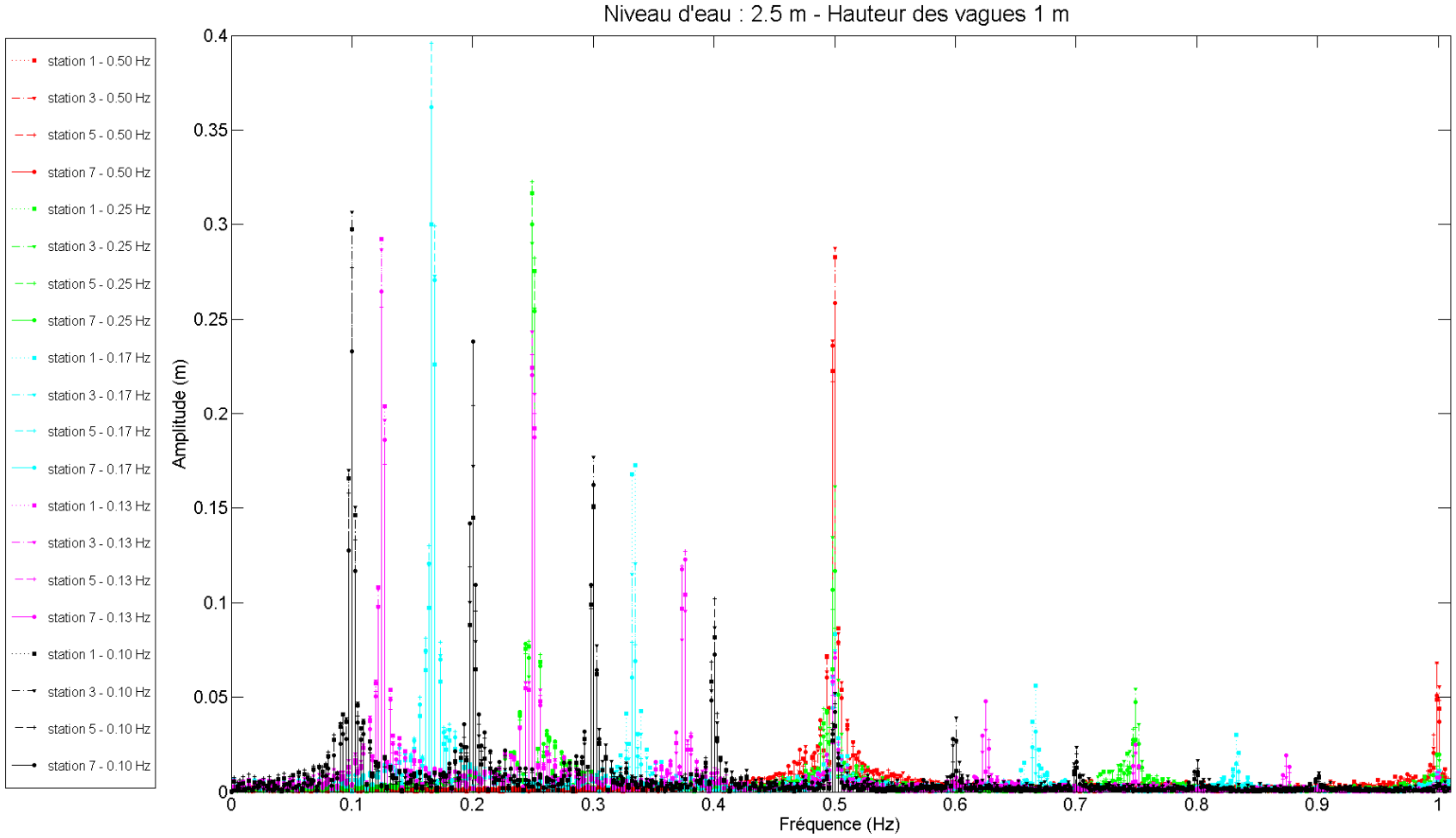


Figure 66. Transformée de Fourier : Résultats de l'analyse spectrale pour une profondeur d'eau de 2,5 m et une hauteur de vague de 1 m en fonction des différentes périodes de 2 s (0,50 Hz), 4 s (0,25 Hz), 6 s (0,17 Hz), 8 s (0,13 Hz) et 10 s (0,10Hz) pour les quatre stations d'échantillonnage du canal

Période de 2 secondes:

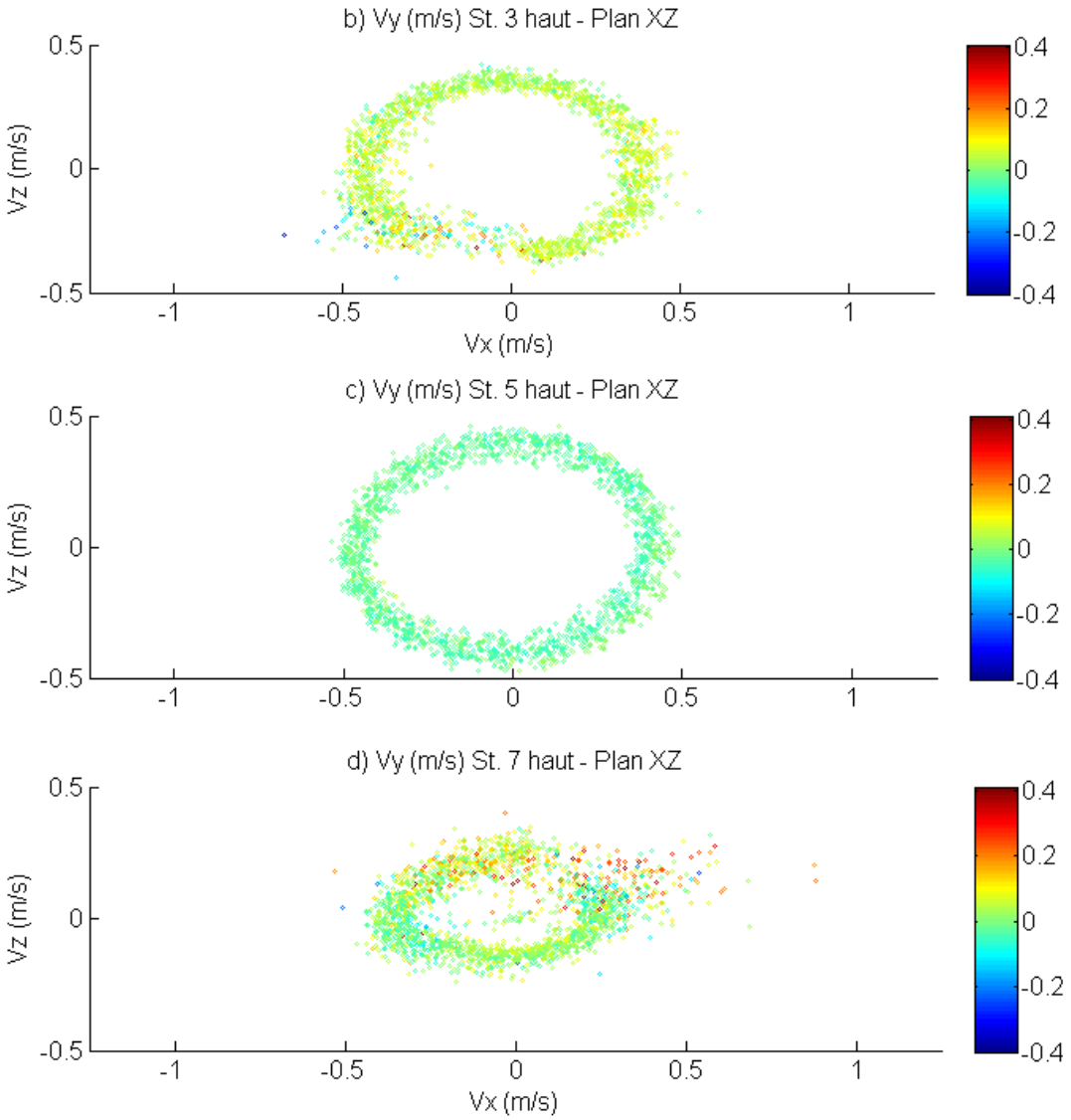


Figure 67. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino I situés en haut des quatre stations (a, b, c et d) pour une profondeur (d) de 2,5 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 2 s (N=2000)

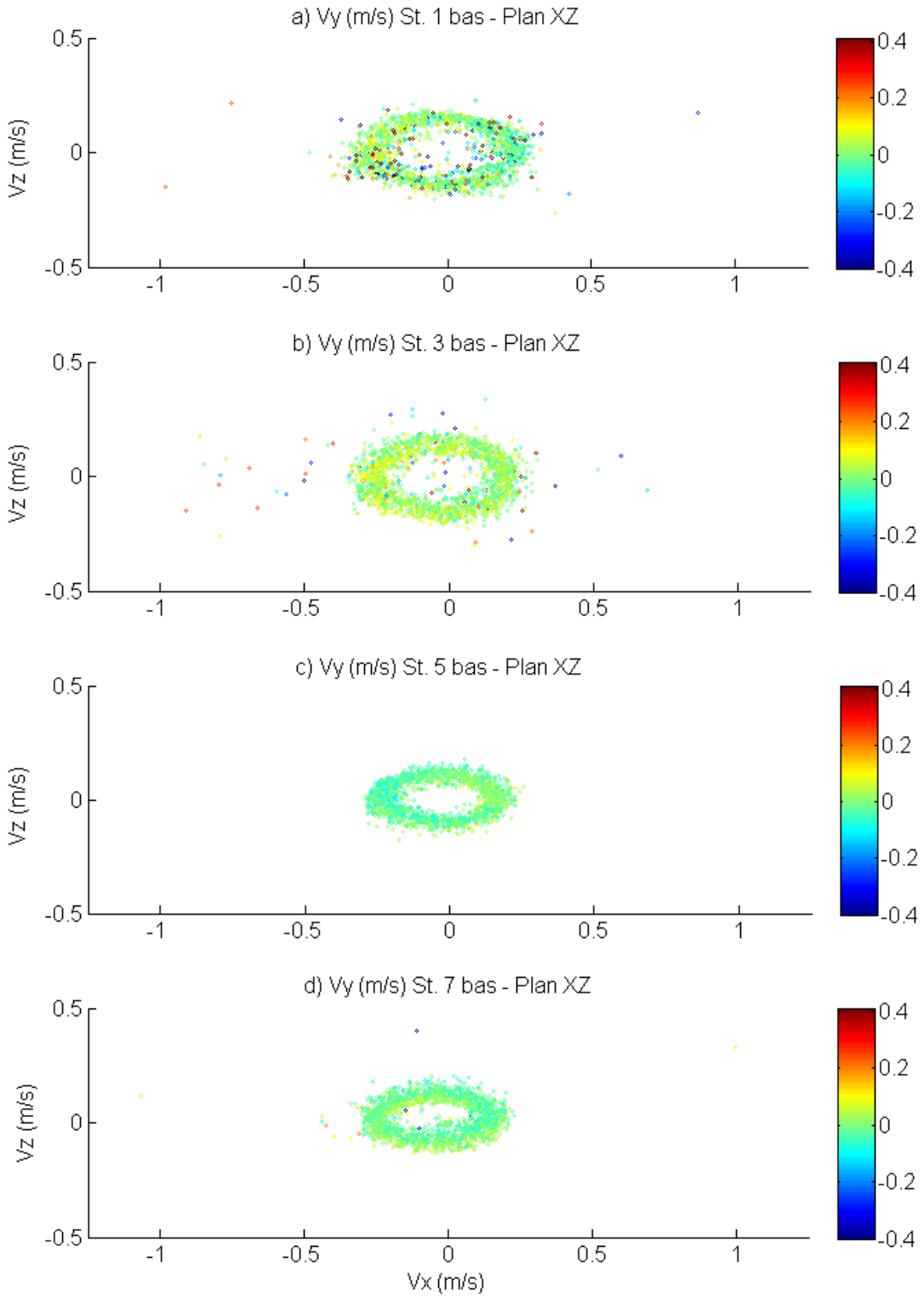


Figure 68. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino I situés au bas des quatre stations (a, b, c et d) pour une profondeur (d) de 2,5 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 2 s (N=2000)

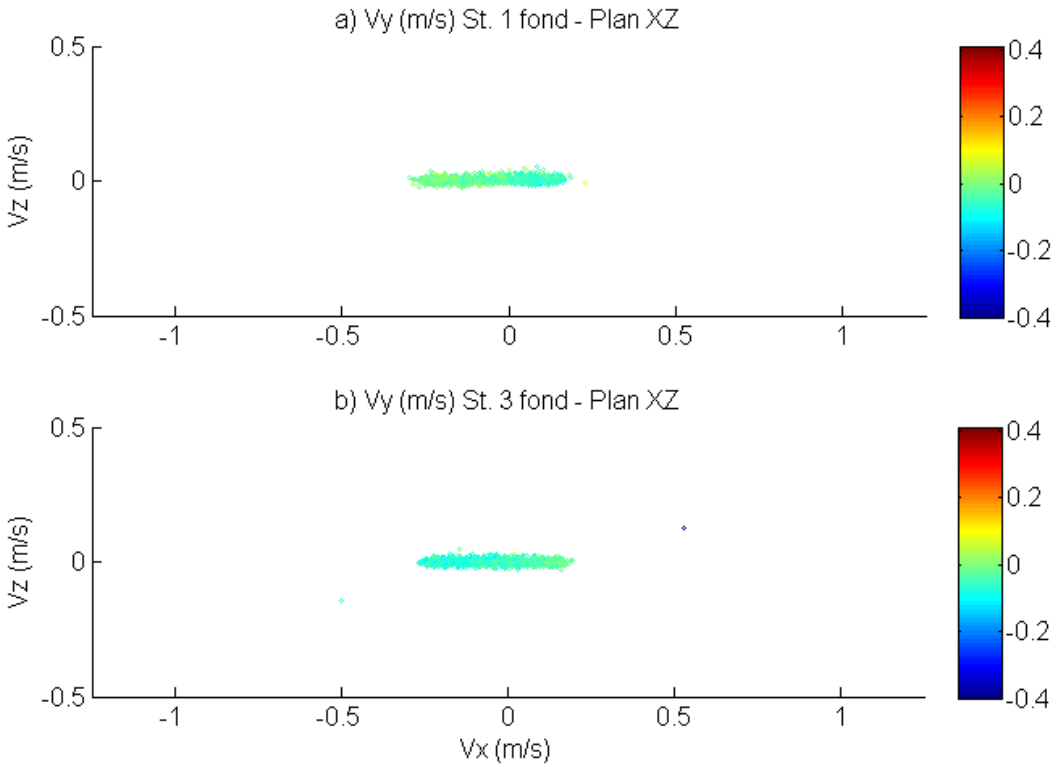


Figure 69. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino II situés au fond du canal aux stations a) 1 et b) 3 pour une profondeur (d) de 2,5 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 2 s (N=2000)

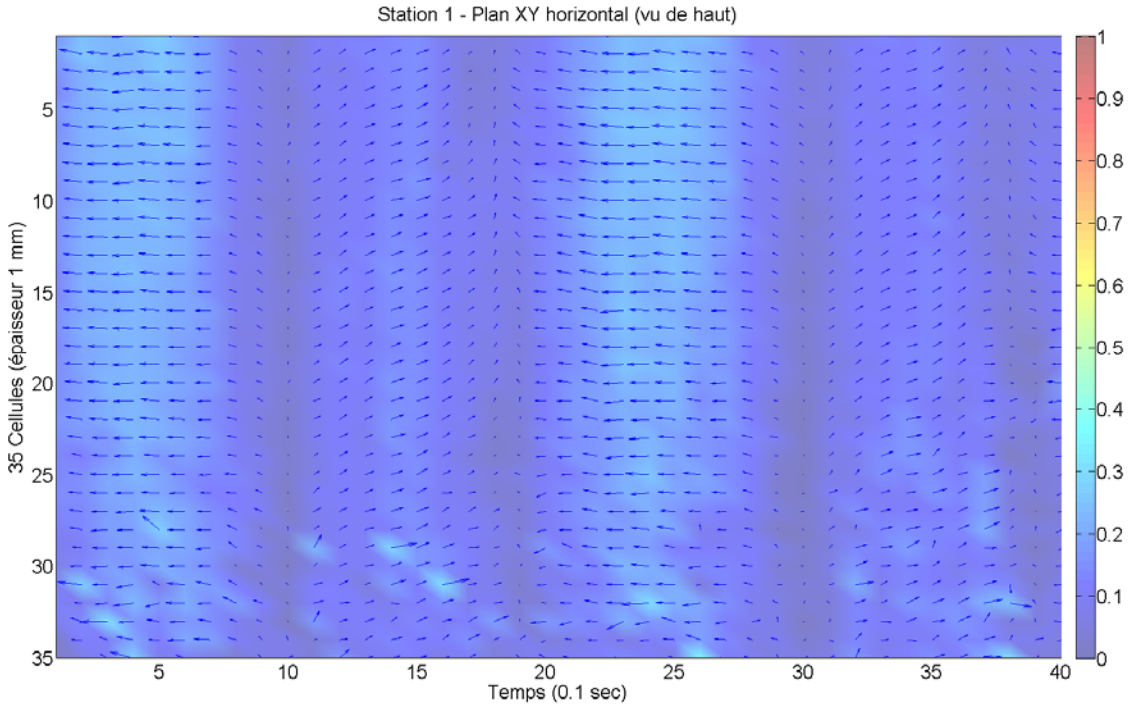


Figure 70. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XY) à la station 1 pour une profondeur (d) de 2,5 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 2 s (n = 2206 à 2245)

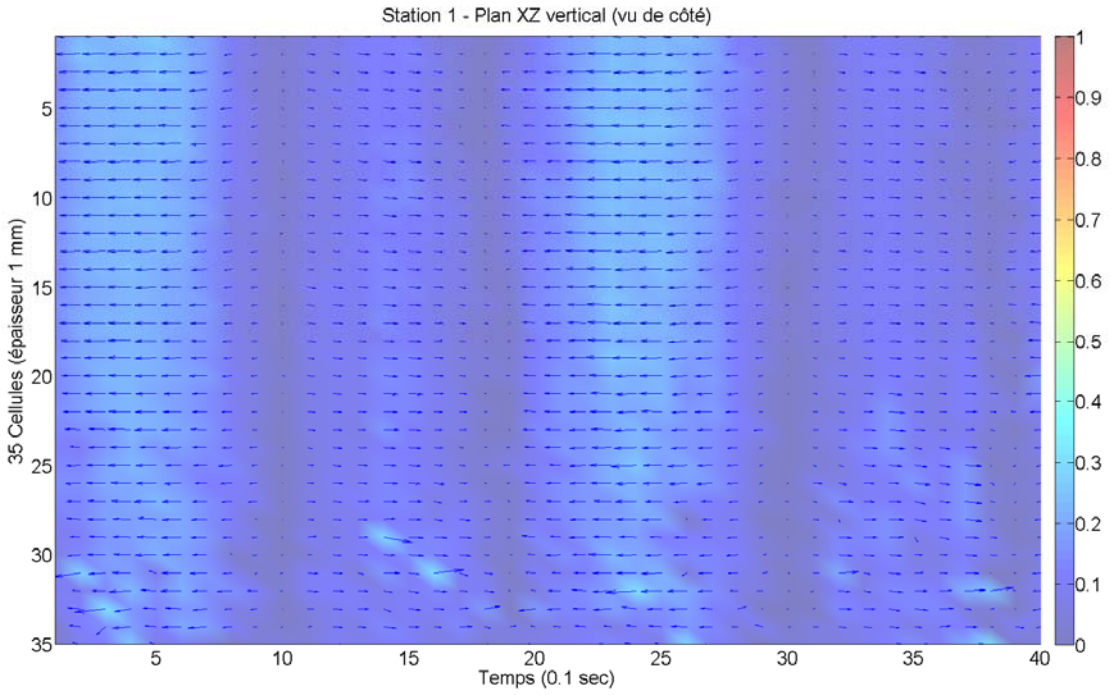


Figure 71. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan vertical (XZ) à la station 1 pour une profondeur (d) de 2,5 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 2s (n = 2206 à 2245)

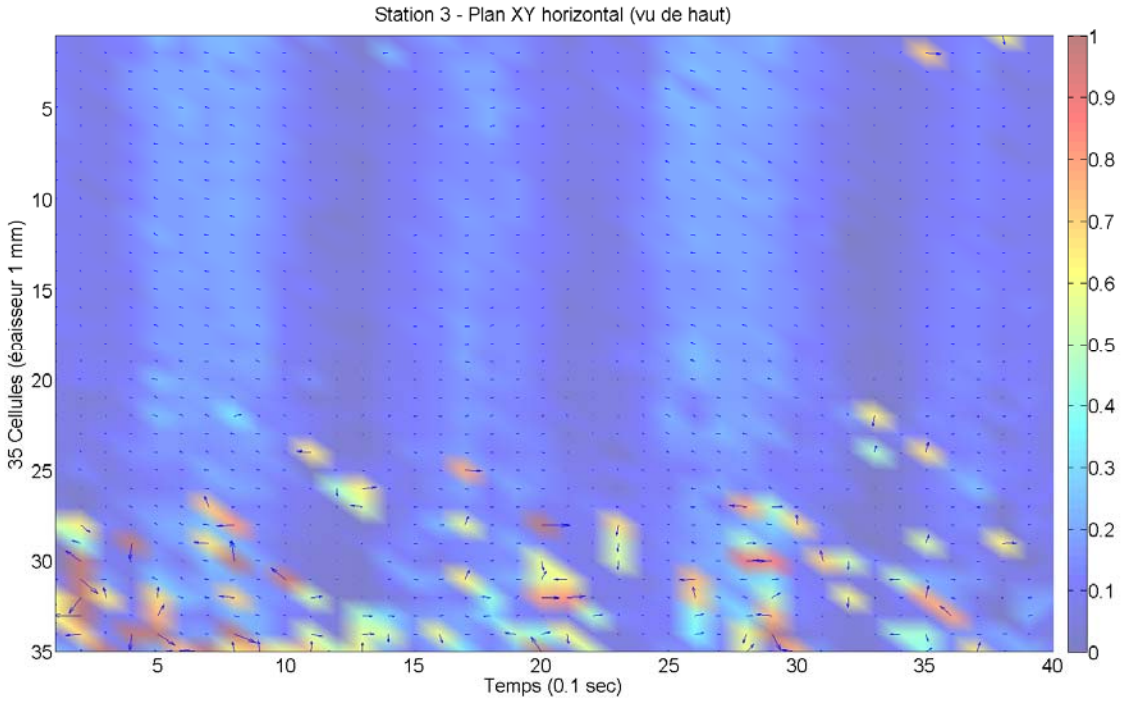


Figure 72. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XY) à la station 3 pour une profondeur (d) de 2,5 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 2 s (n = 2256 à 2295)

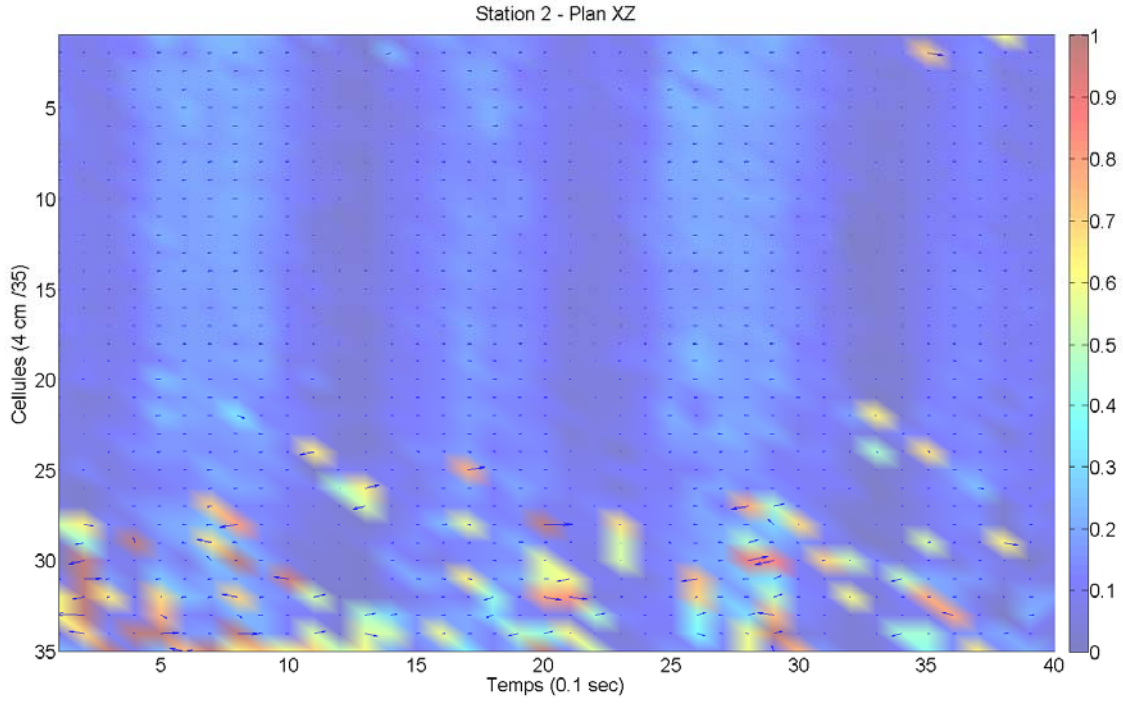


Figure 73. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan vertical (XZ) à la station 3 pour une profondeur (d) de 2,5 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 2 s (n = 2256 à 2295)

Note: Le bruit est beaucoup plus grand que les mesures ci-haut (flèches proportionnelles).

Période de 4 secondes:

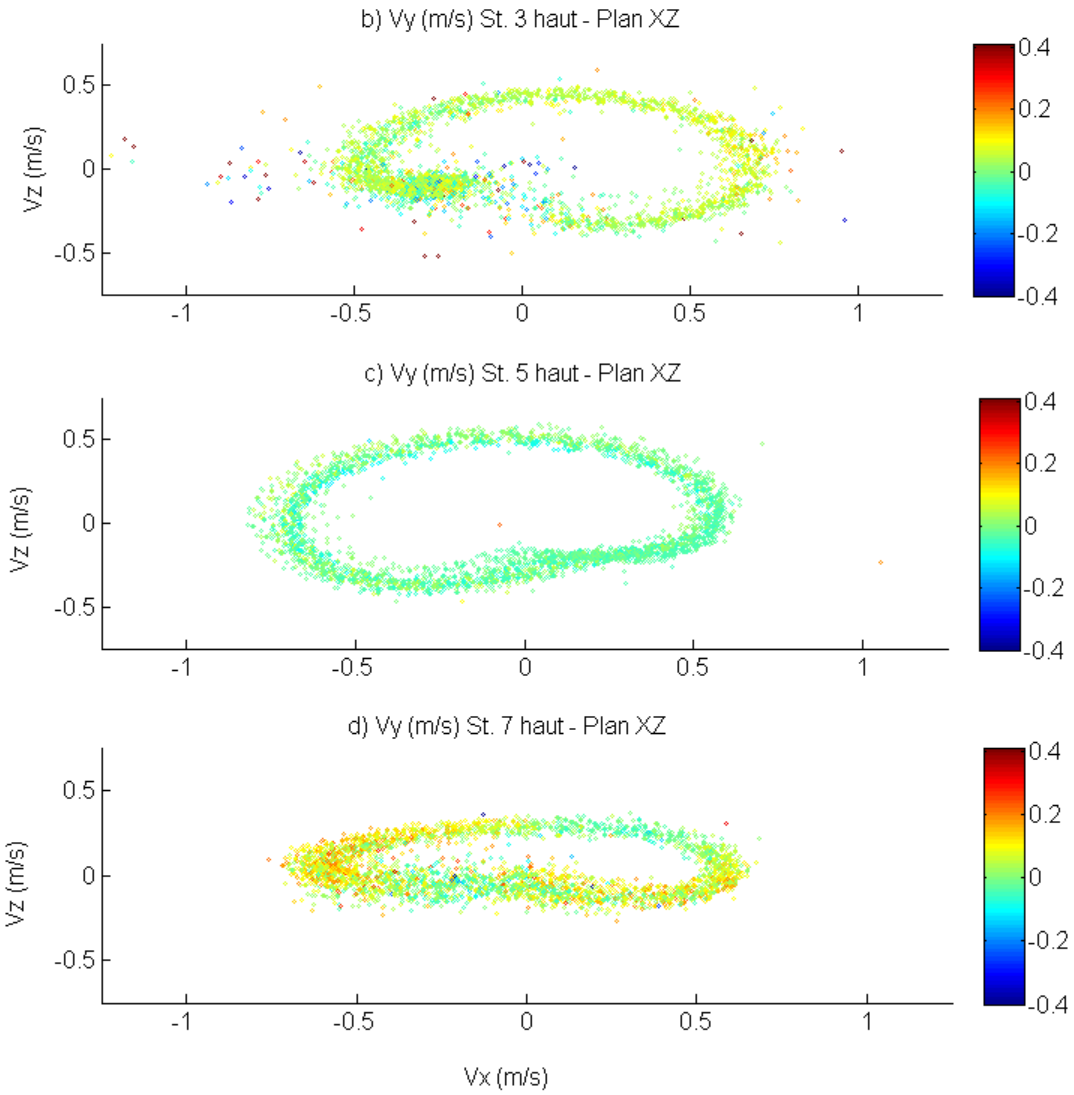


Figure 74. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino I situés en haut des quatre stations (a, b, c et d) pour une profondeur (d) de 2,5 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 4 s (N=3000)

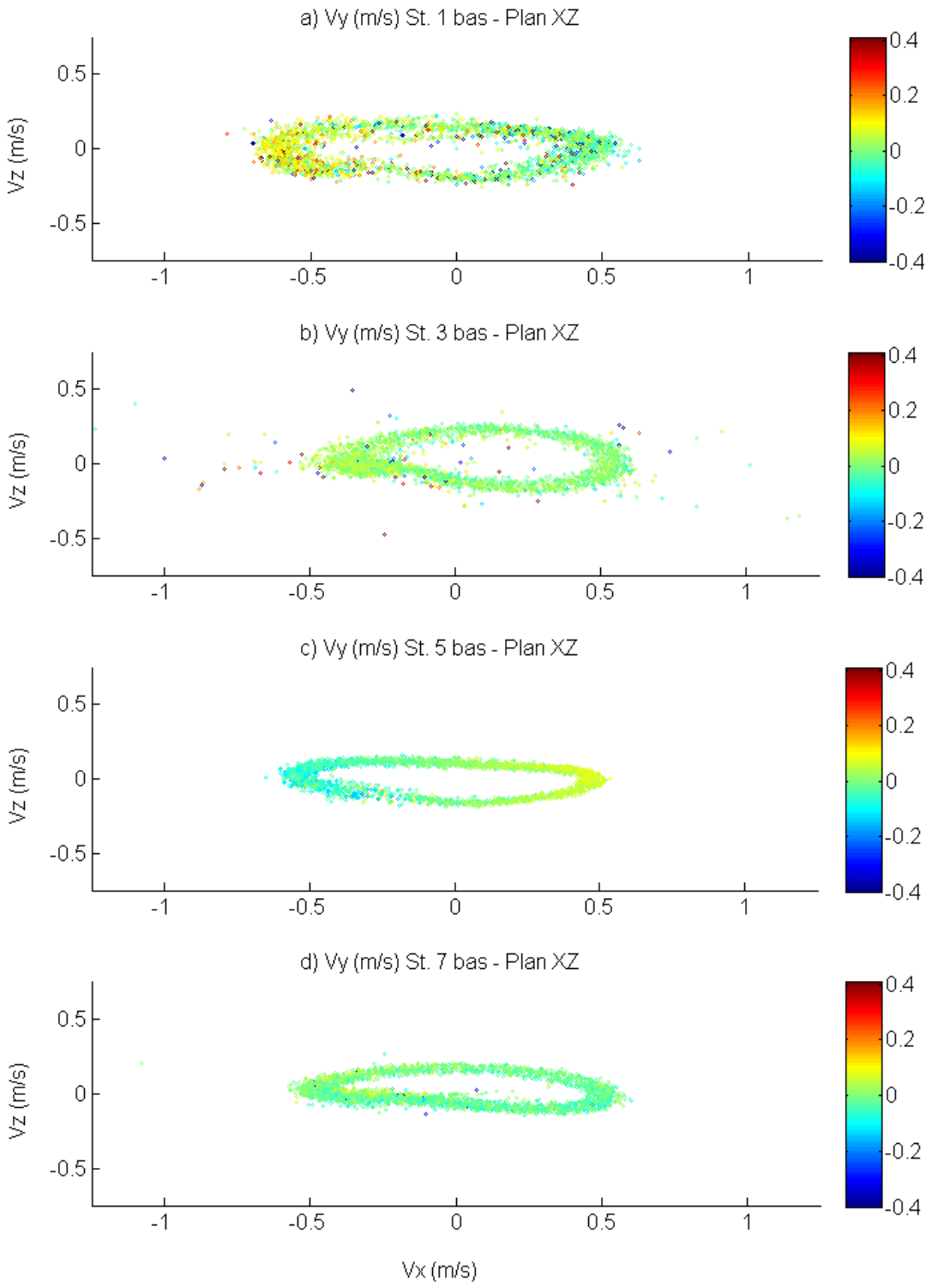


Figure 75. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino I situés au bas des quatre stations (a, b, c et d) pour une profondeur (d) de 2,5 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 4 s (N=3000)

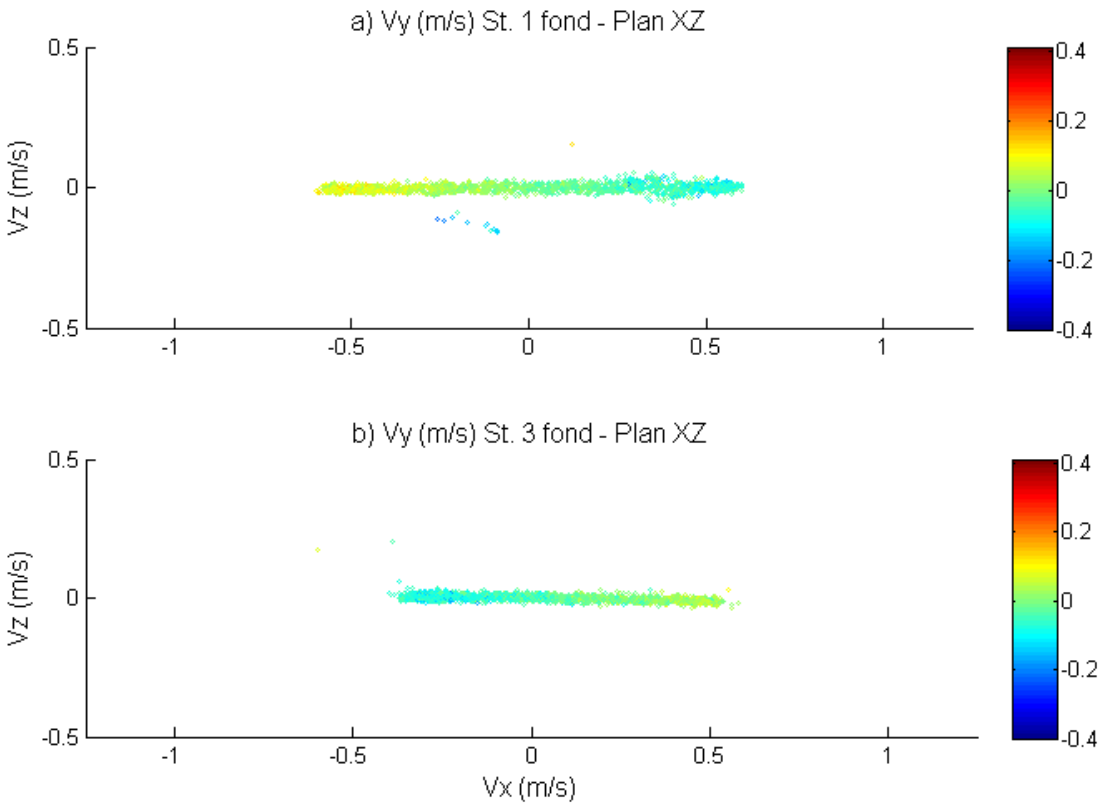


Figure 76. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino II situés au fond du canal aux stations a) 1 et b) 3 pour une profondeur (d) de 2,5 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 4 s (N=2000)

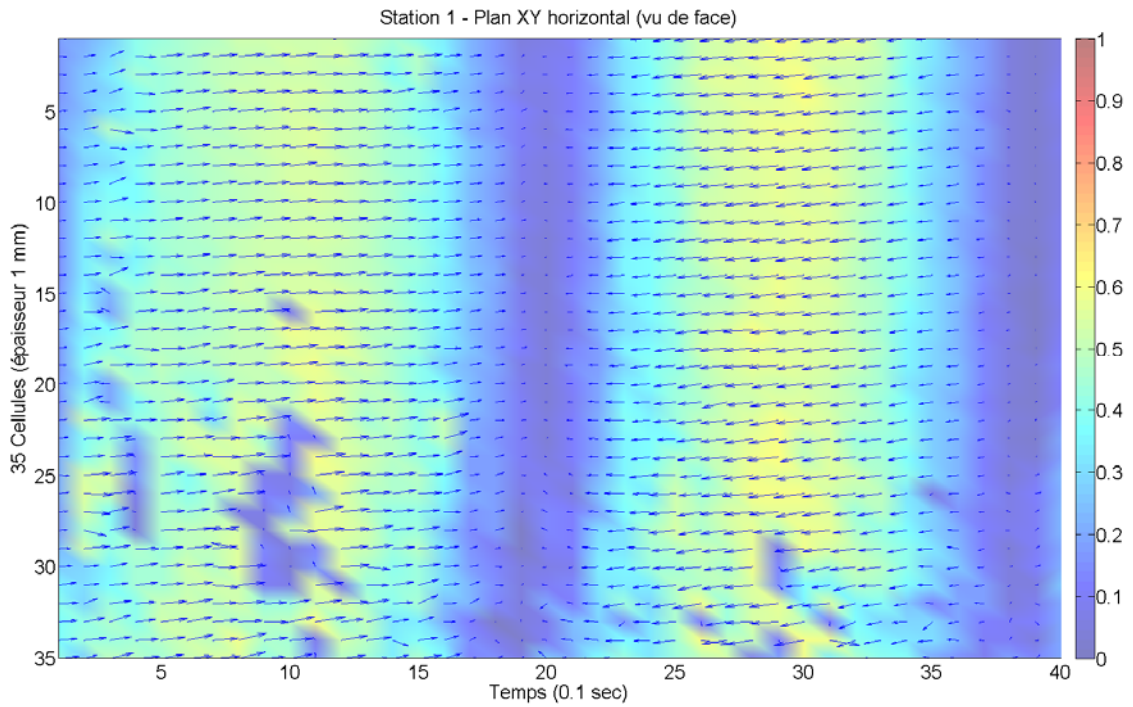


Figure 77. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XY) à la station 1 pour une profondeur (d) de 2,5 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 4 s (n = 2260 à 2299)

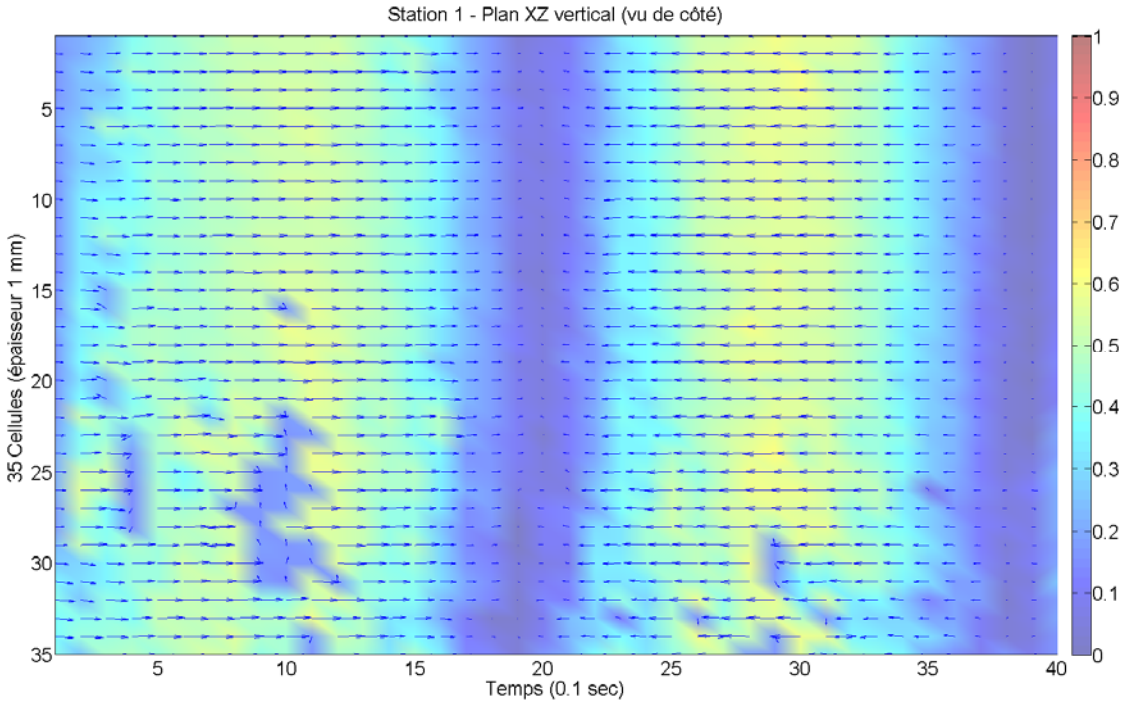


Figure 78. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan vertical (XZ) à la station 1 pour une profondeur (d) de 2,5 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 4 s (n = 2260 à 2299)

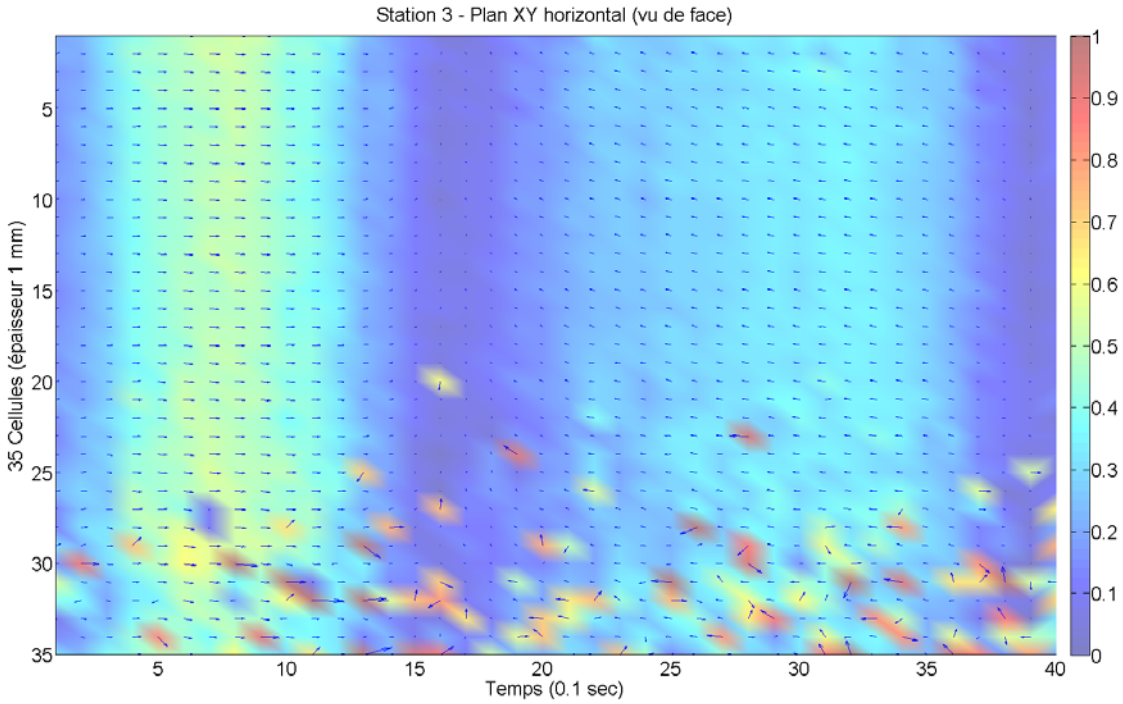


Figure 79. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XY) à la station 3 pour une profondeur (d) de 2,5 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 4 s (n = 1995 à 2034)

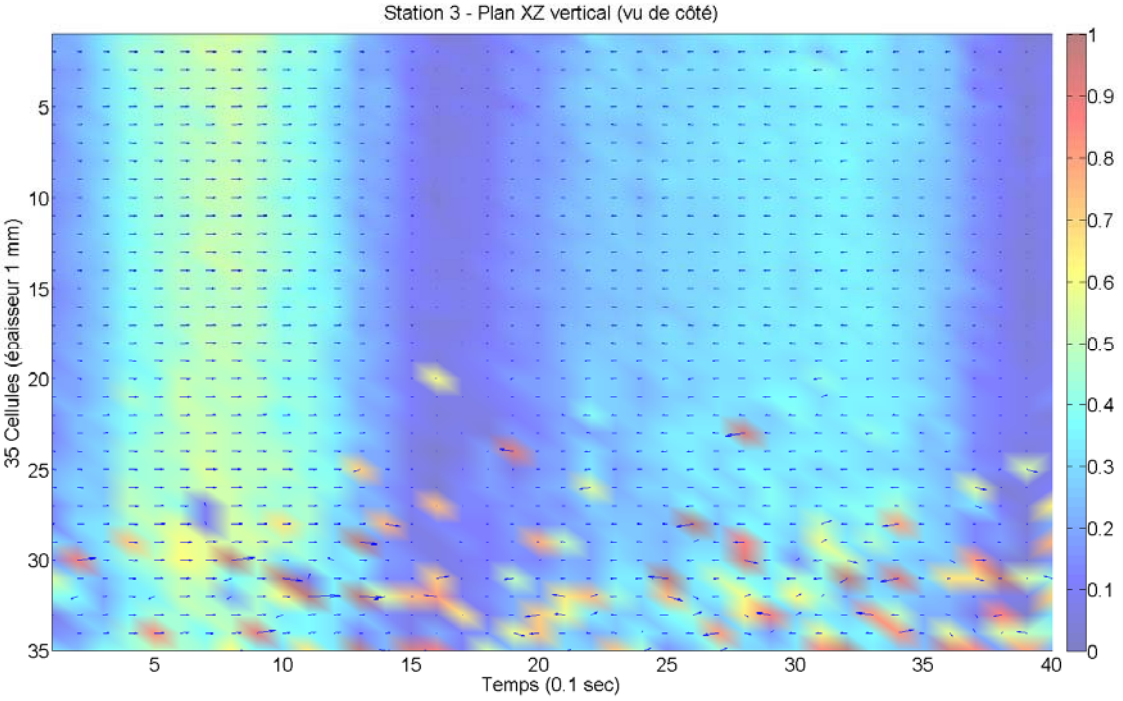


Figure 80. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan vertical (XZ) à la station 3 pour une profondeur (d) de 2,5 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 4 s (n = 1995 à 2034)

Période de 6 secondes:

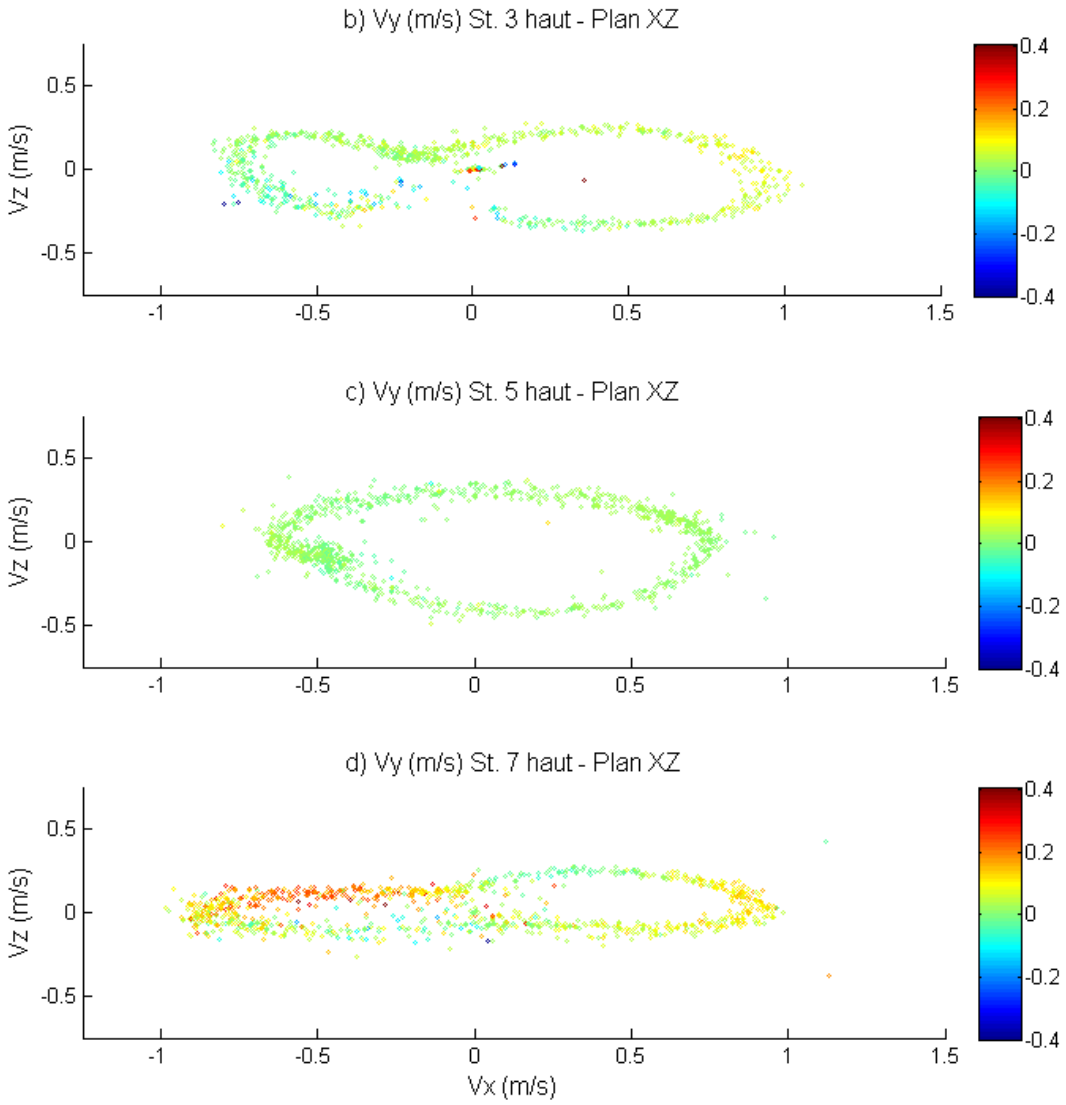


Figure 81. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino I situés en haut des quatre stations (a, b, c et d) pour une profondeur (d) de 2,5 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 6 s (N=1000)

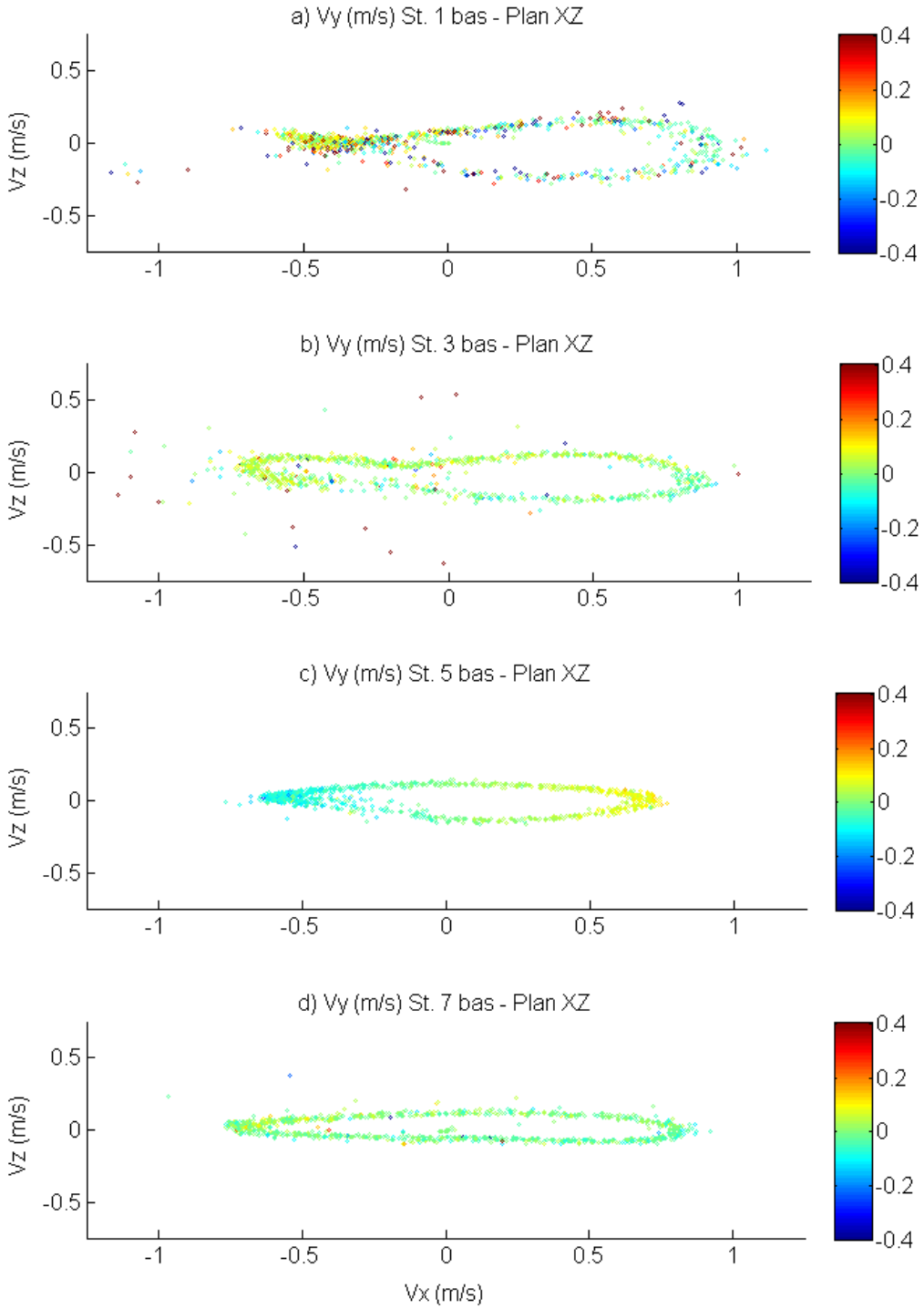


Figure 83. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino I situés au bas des quatre stations (a, b, c et d) pour une profondeur (d) de 2,5 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 6 s (N=1000)

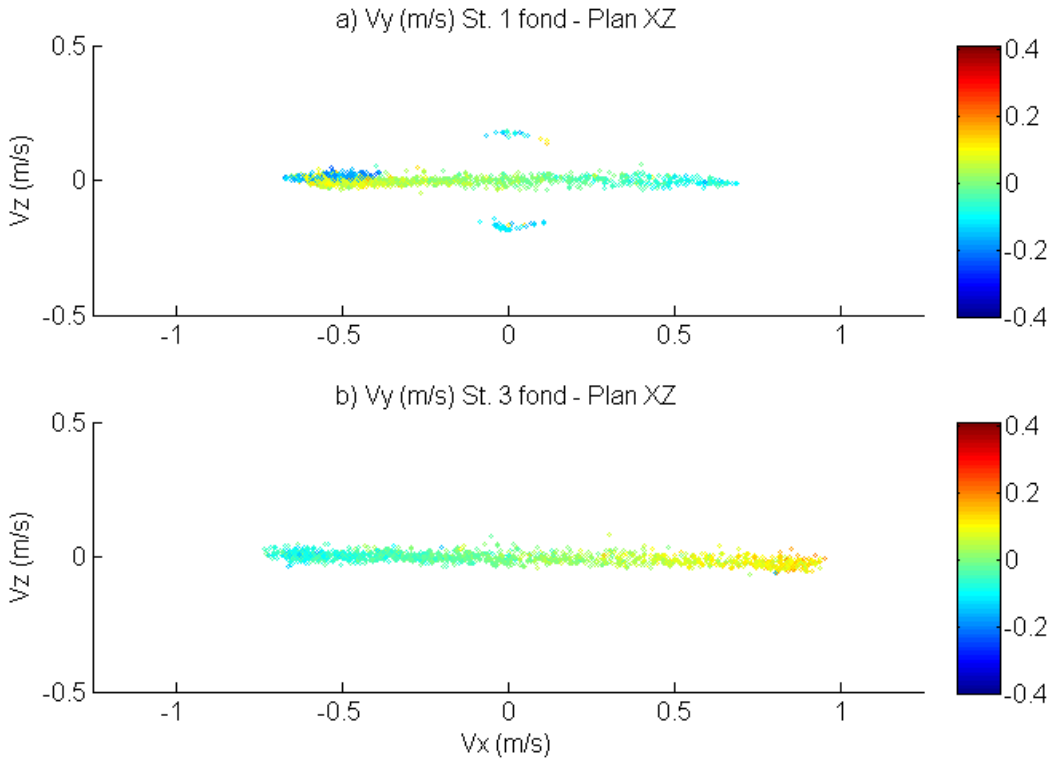


Figure 82. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino II situés au fond du canal aux stations a) 1 et b) 3 pour une profondeur (d) de 2,5 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 6 s (N=1500)

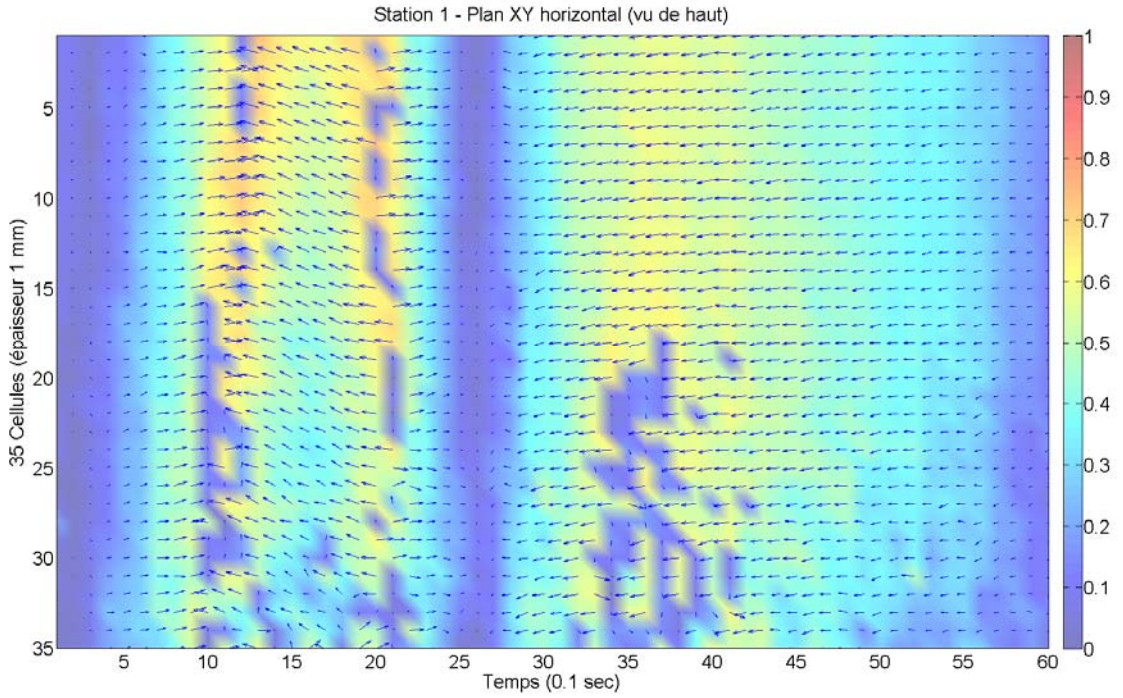


Figure 83. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XY) à la station 1 pour une profondeur (d) de 2,5 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 6 s (n = 1990 à 2049)

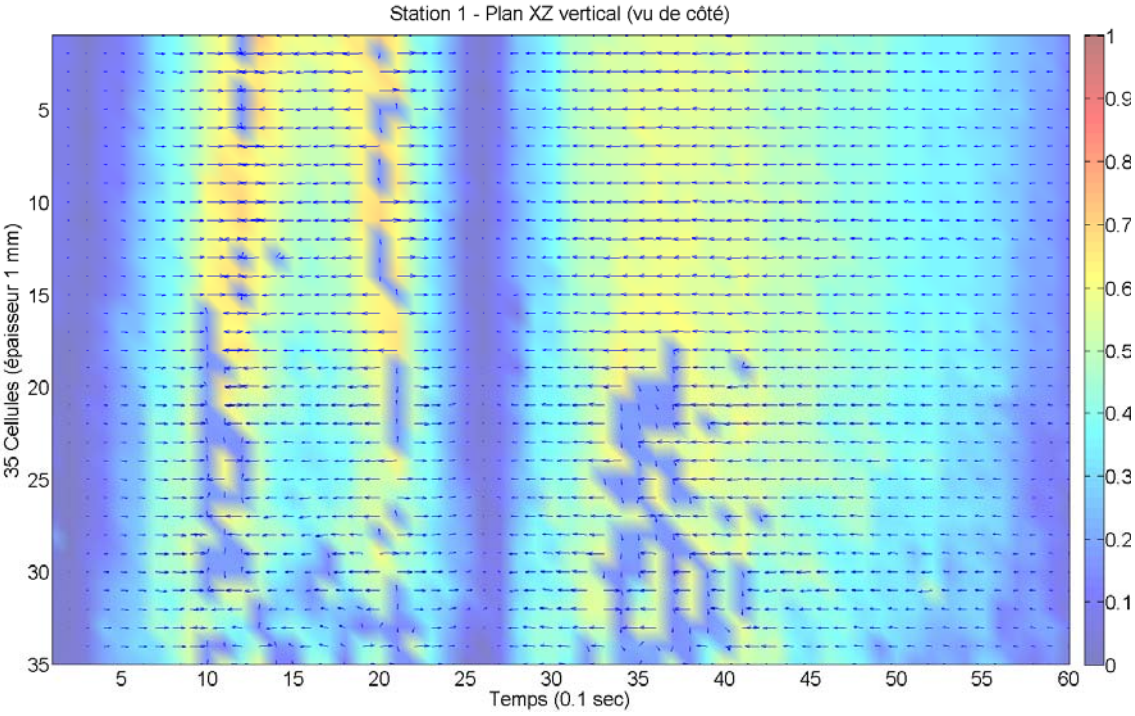


Figure 84. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan vertical (XZ) à la station 1 pour une profondeur (d) de 2,5 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 6 s (n = 1990 à 2049)

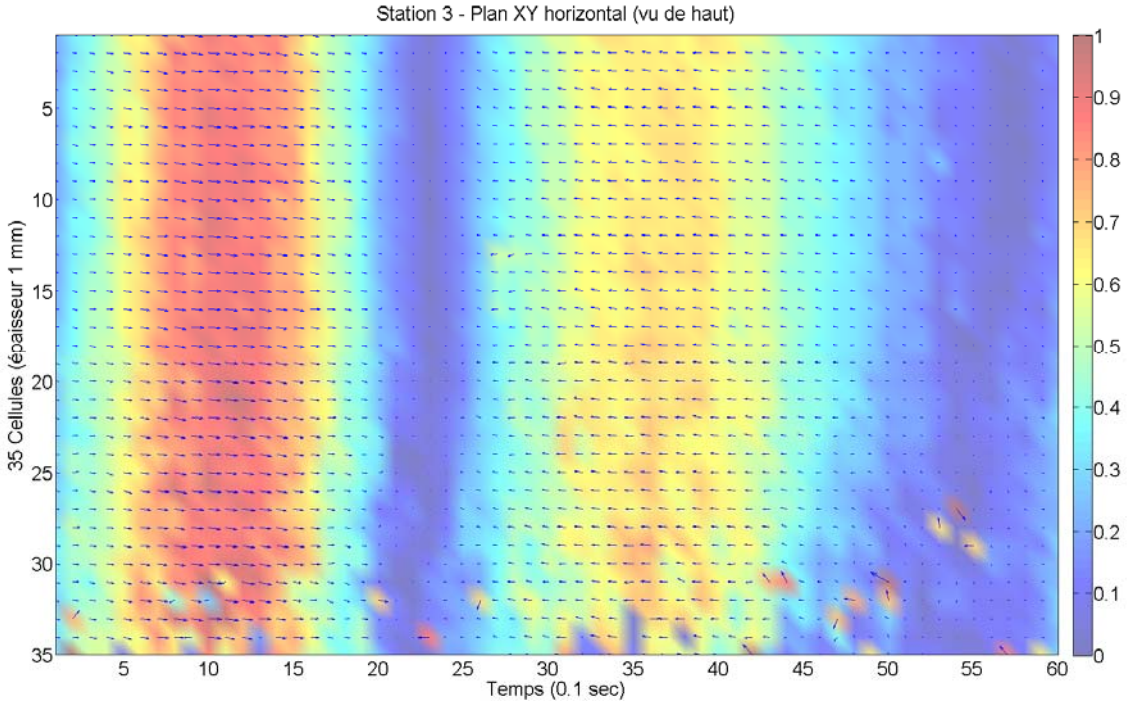


Figure 85. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XY) à la station 3 pour une profondeur (d) de 2,5 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 6 s (n = 1995 à 2054)

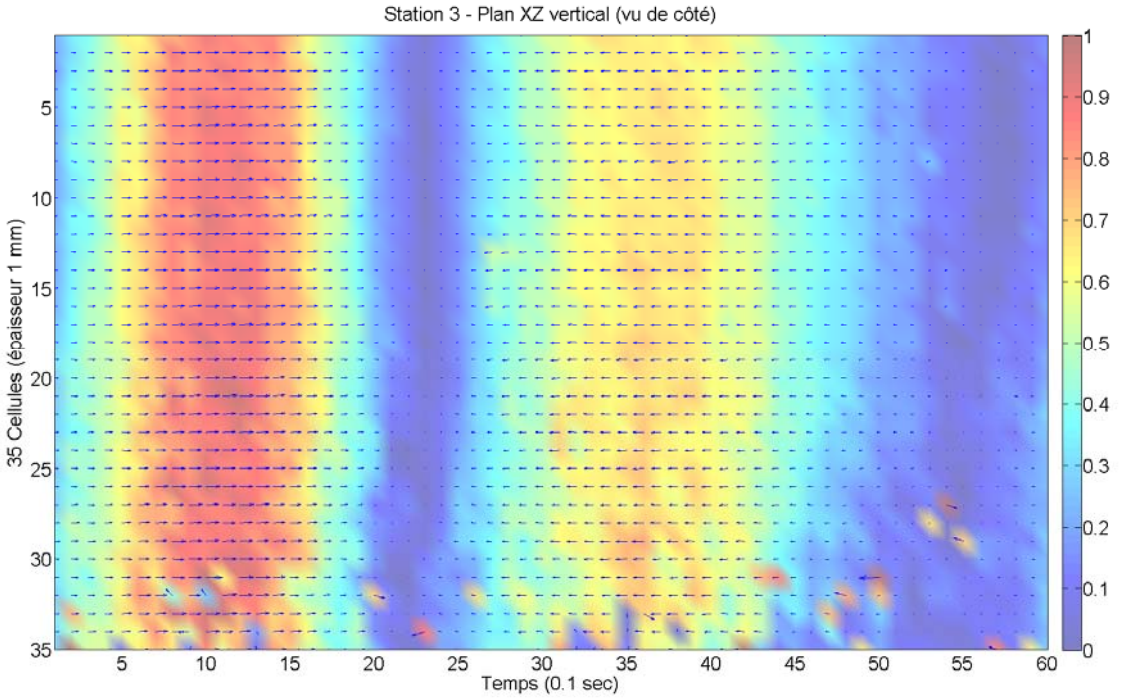


Figure 86. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan vertical (XZ) à la station 3 pour une profondeur (d) de 2,5 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 6 s (n = 1995 à 2054)

Période de 8 secondes :

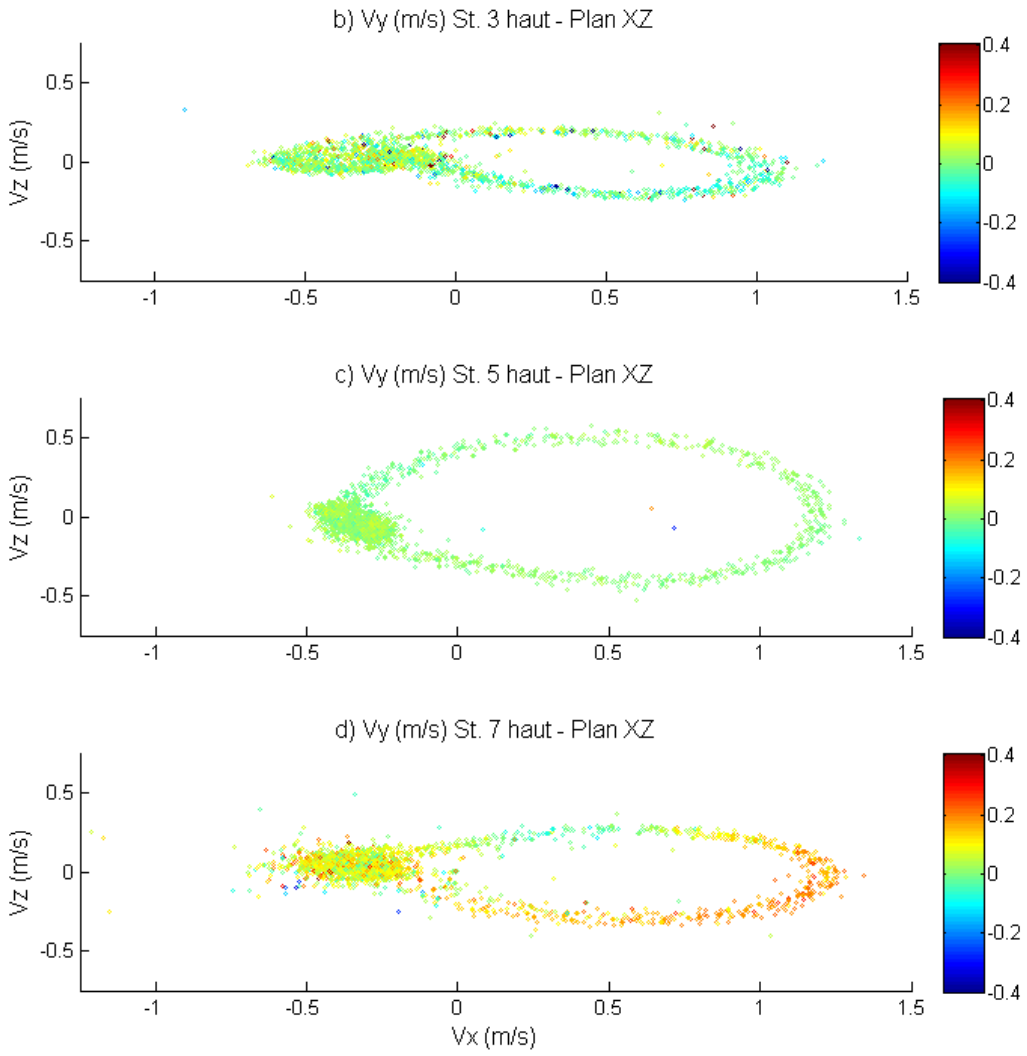


Figure 87. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino I situés en haut des quatre stations (a, b, c et d) pour une profondeur (d) de 2,5 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 8s (N=2000)

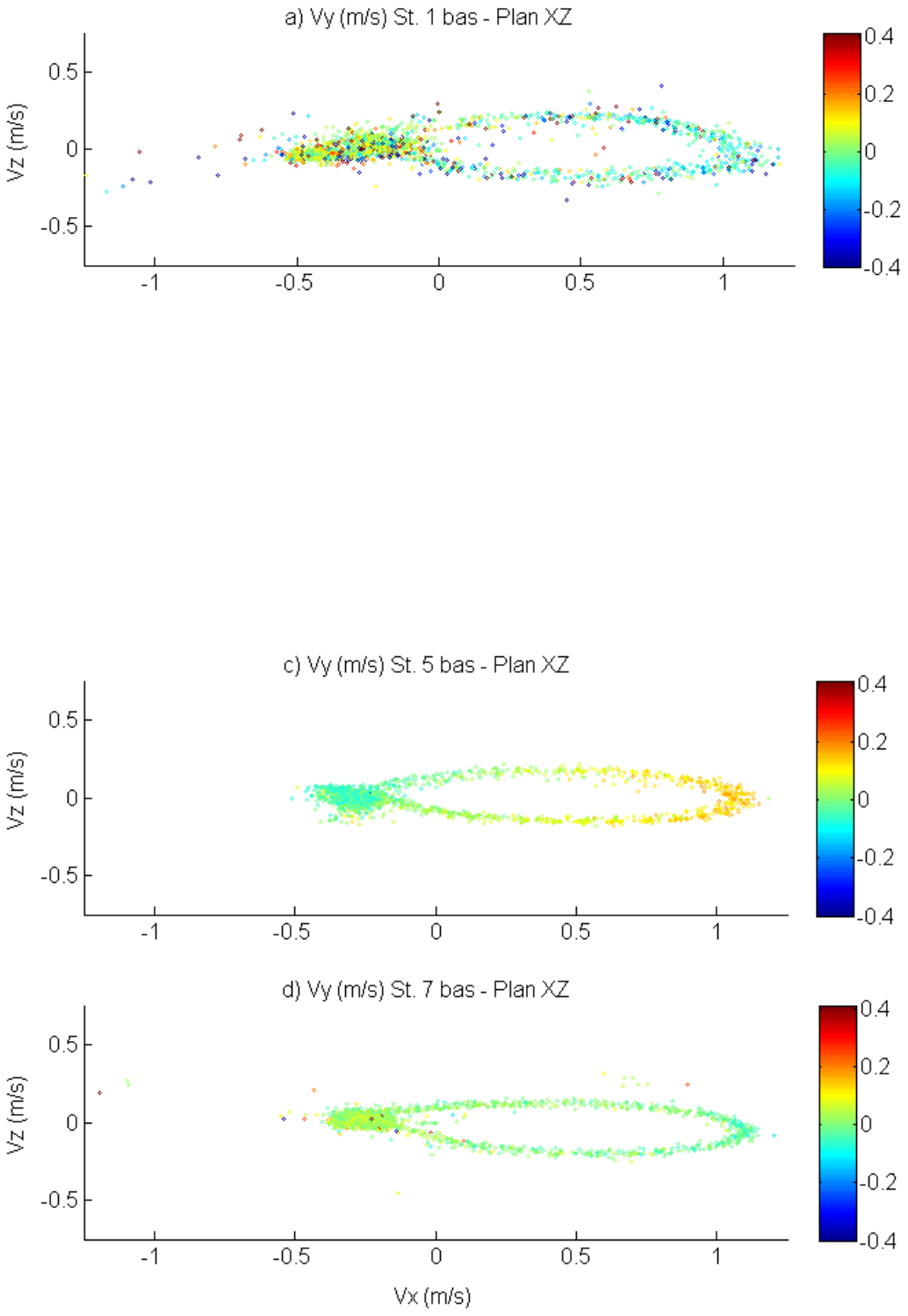


Figure 88. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino I situés au bas des quatre stations (a, b, c et d) pour une profondeur (d) de 2,5 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 8 s (N=2000)

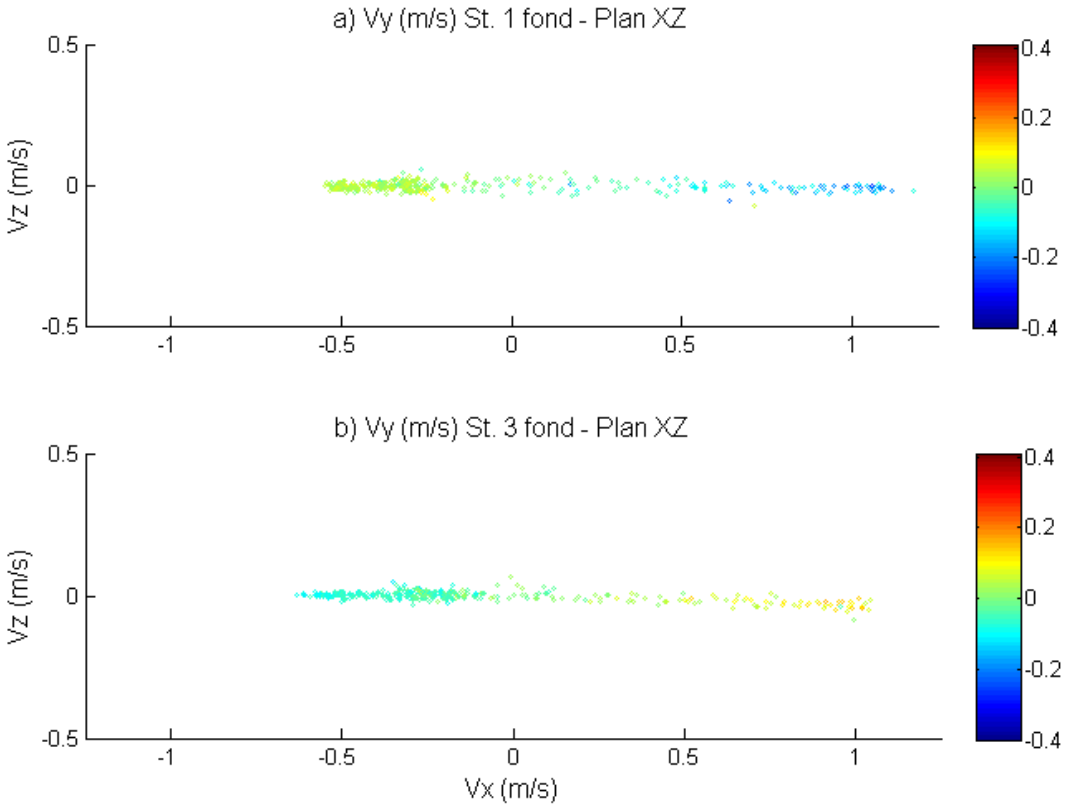


Figure 89. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino II situés au fond du canal aux stations a) 1 et b) 3 pour une profondeur (d) de 2,5 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 8 s (N=370)

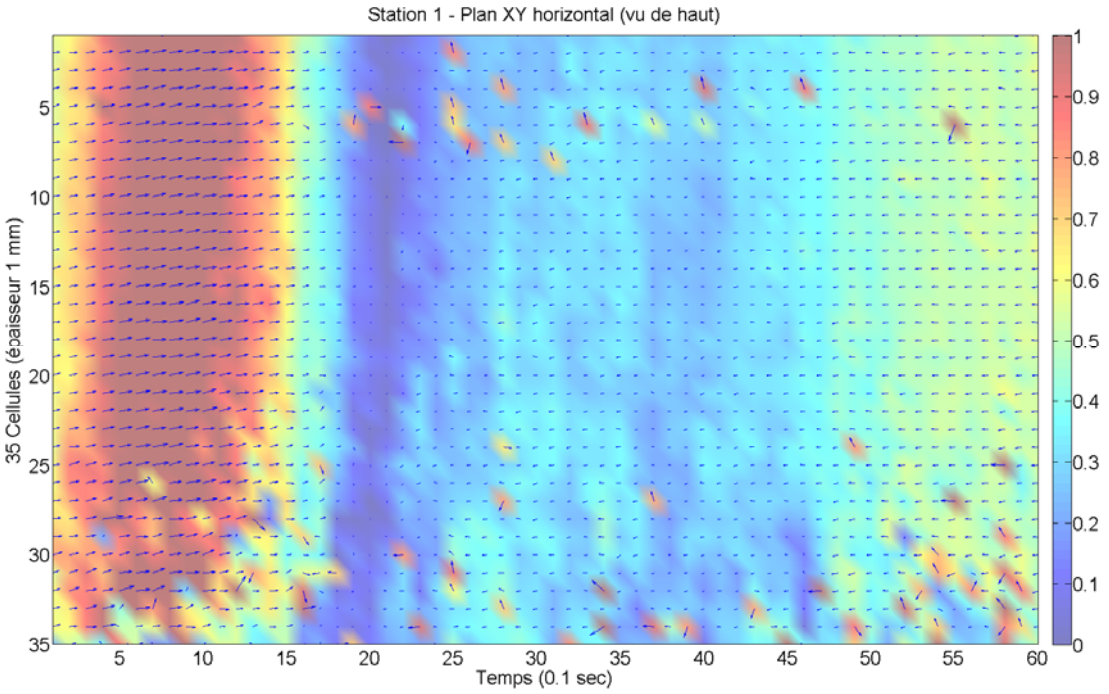


Figure 90. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XY) à la station 1 pour une profondeur (d) de 2,5 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 8 s (n = 495 à 554)

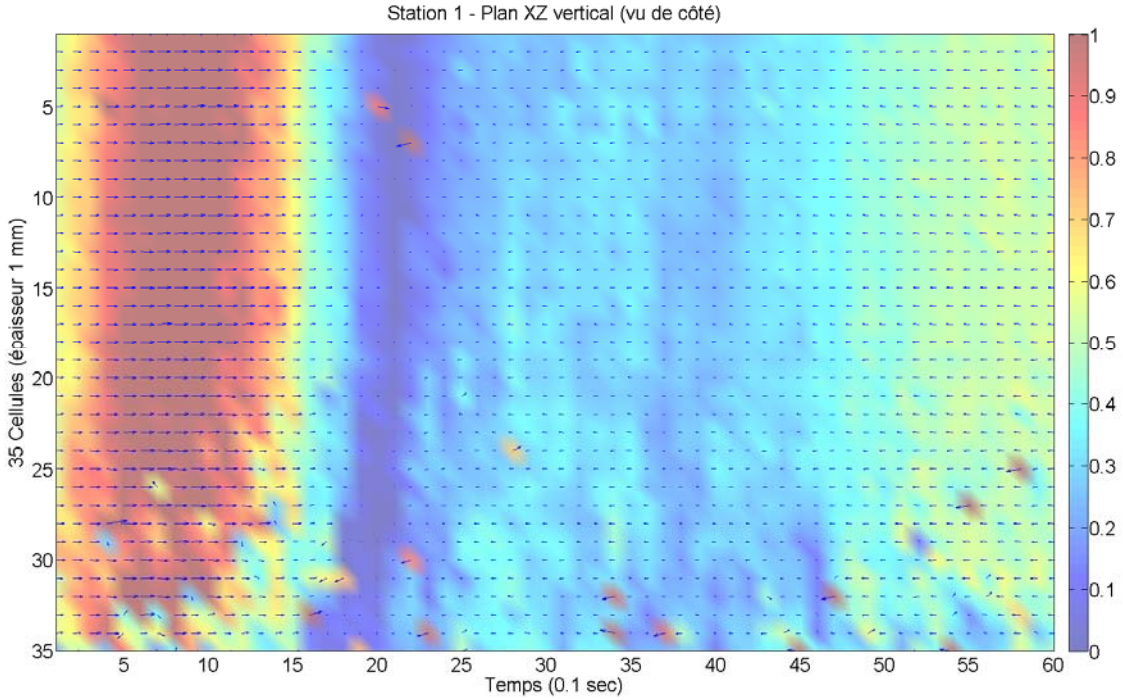


Figure 91. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan vertical (XZ) à la station 1 pour une profondeur (d) de 2,5 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 8 s (n = 495 à 554)

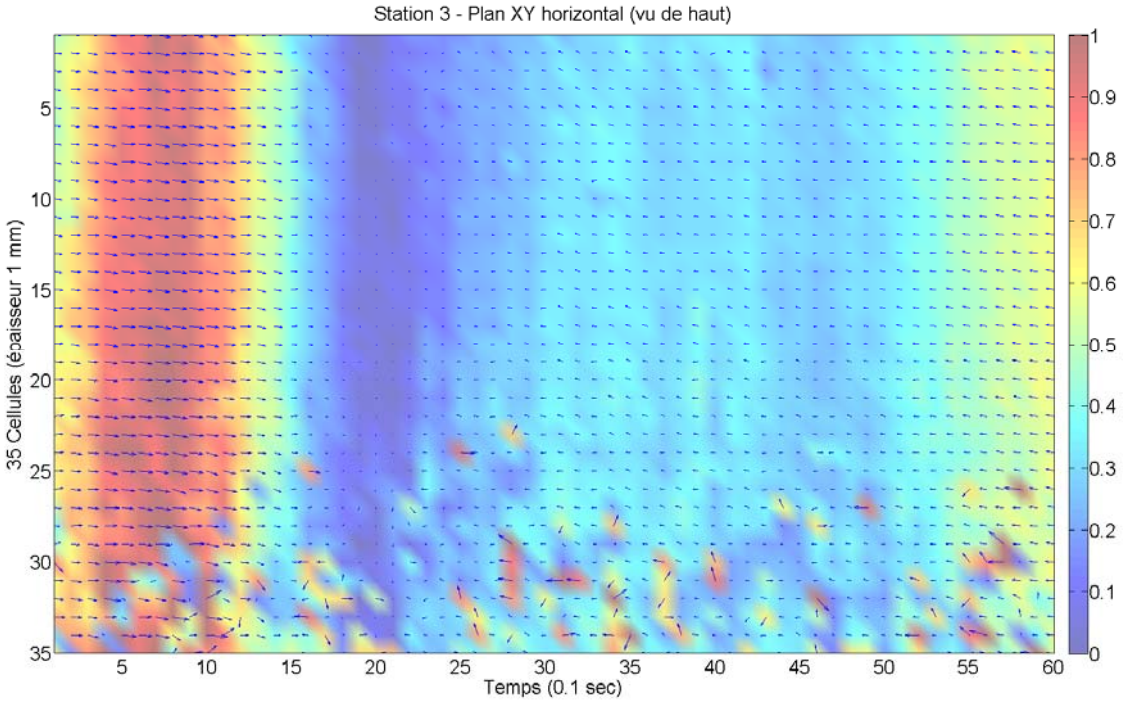


Figure 92. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XY) à la station 3 pour une profondeur (d) de 2,5 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 8 s (n = 1060 à 1119)

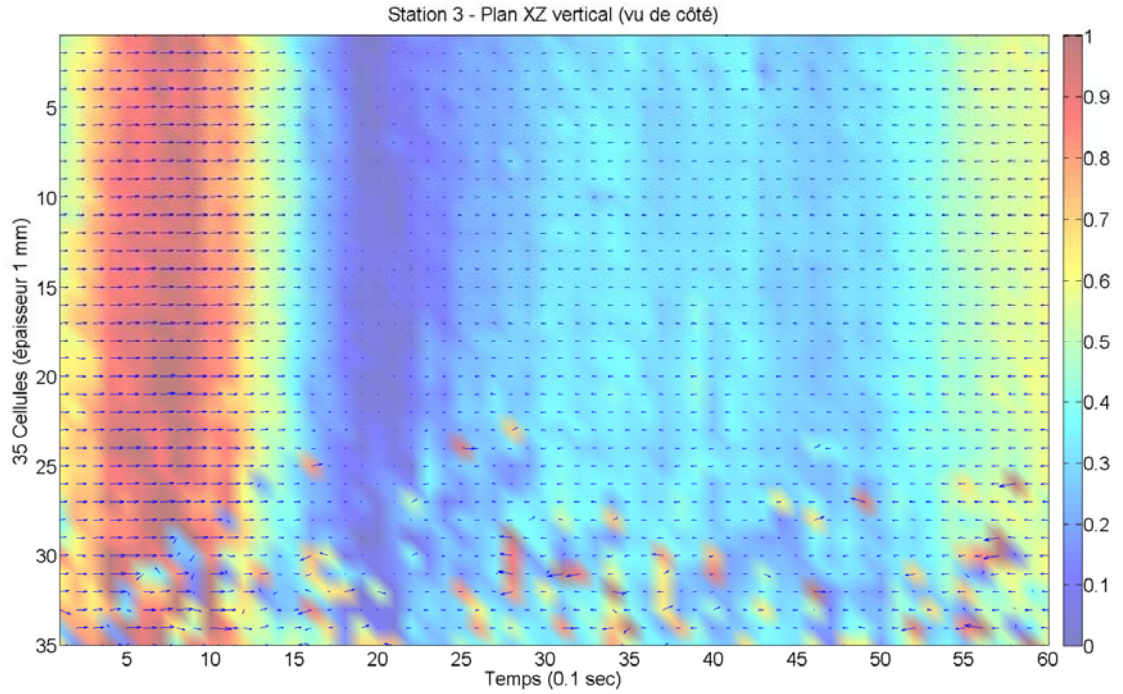


Figure 93. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan vertical (XZ) à la station 3 pour une profondeur (d) de 2,5 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 8 s (n = 1060 à 1119)

Période de 10 secondes :

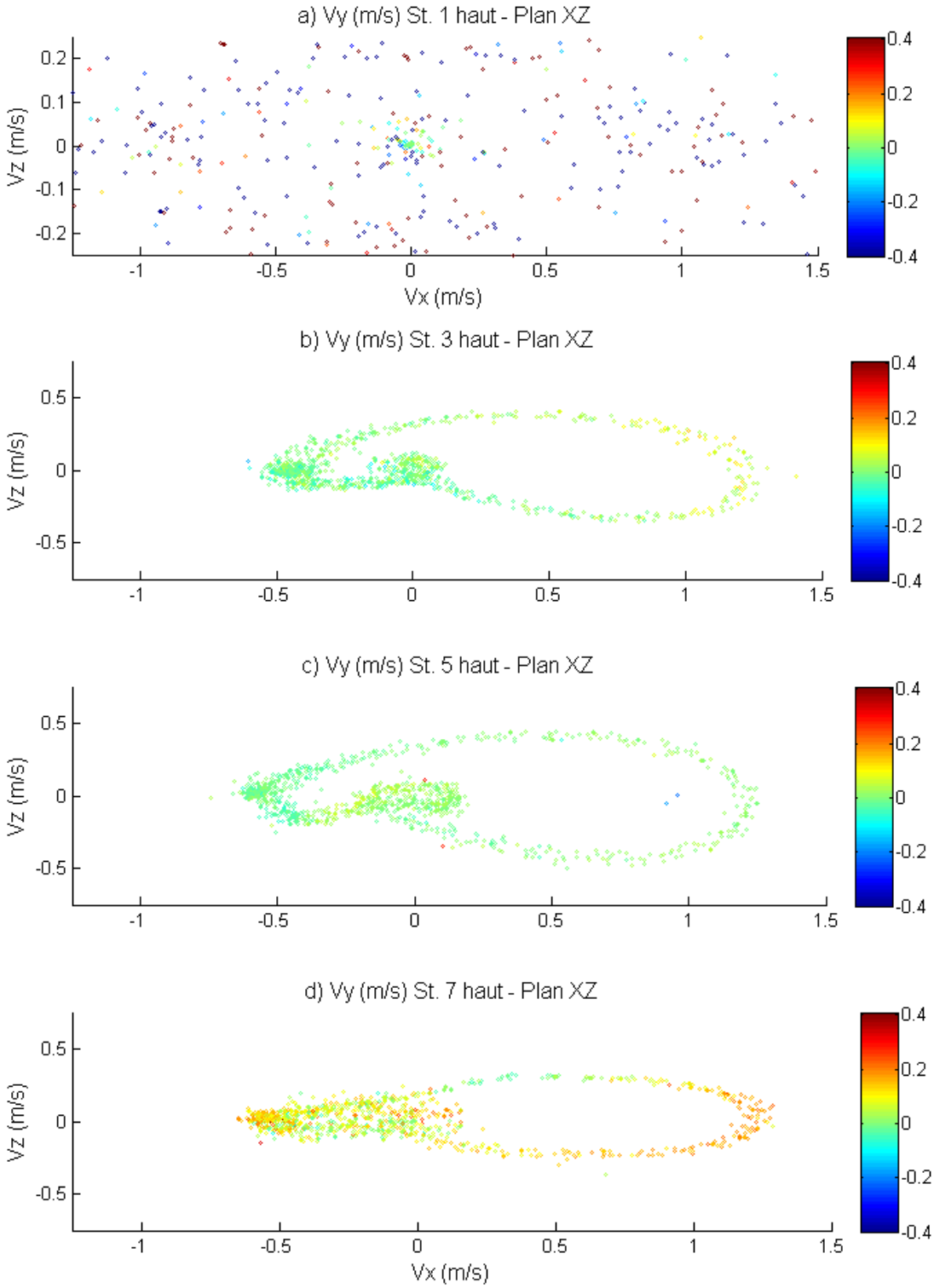


Figure 94. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino I situés en haut des quatre stations (a, b, c et d) pour une profondeur (d) de 2,5 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 10 s (N=1000)

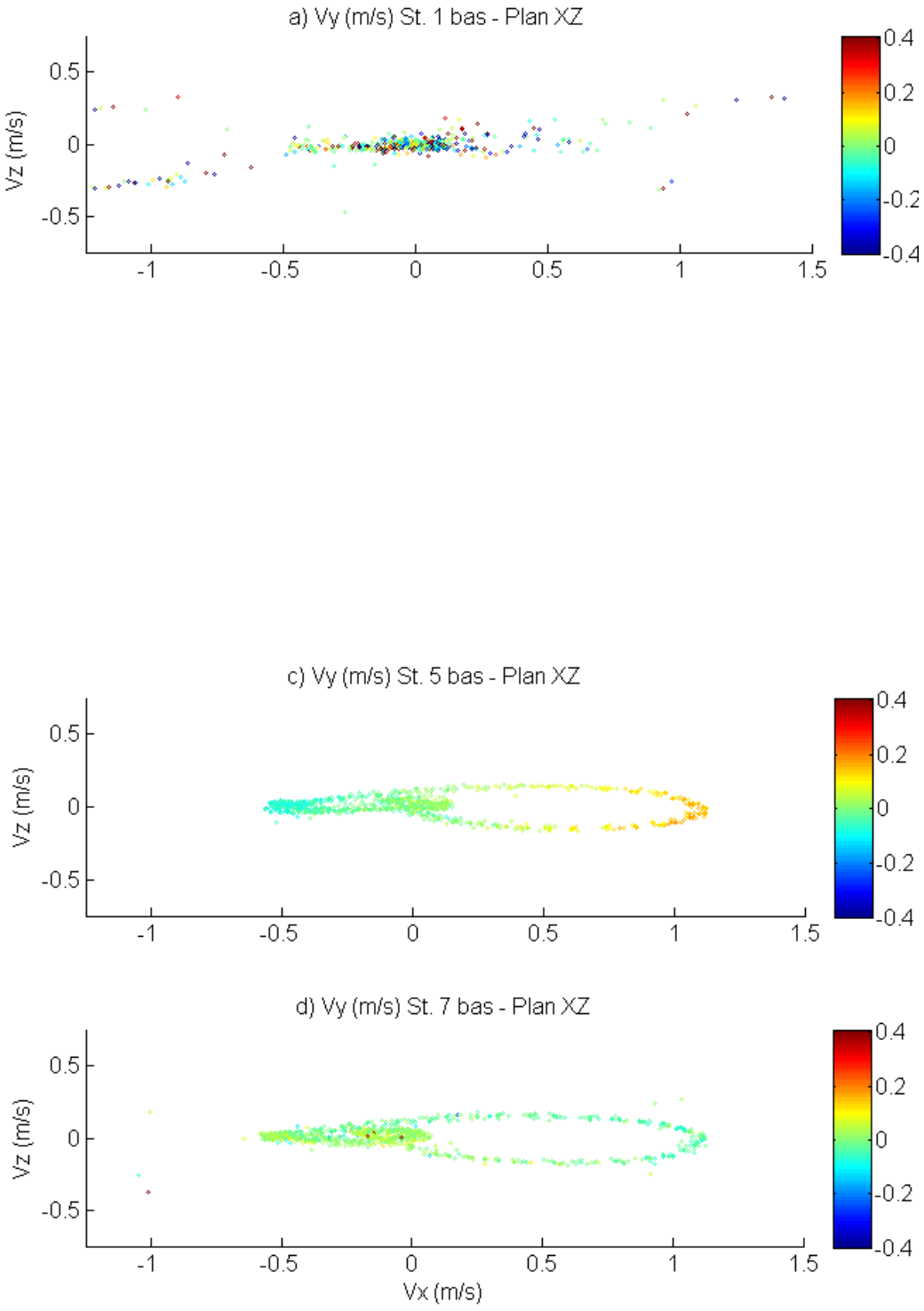


Figure 97. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino I situés au bas des quatre stations (a, b, c et d) pour une profondeur (d) de 2,5 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 10 s (N=1000)

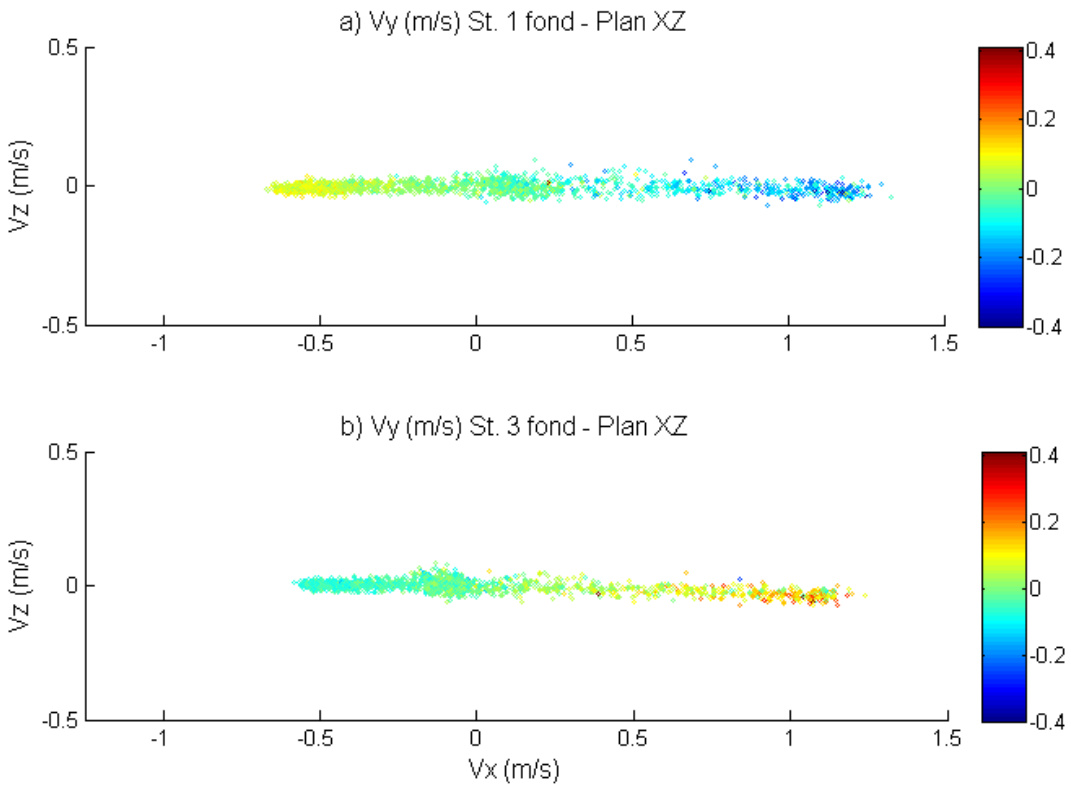


Figure 95. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino II situés au fond du canal aux stations a) 1 et b) 3 pour une profondeur (d) de 2,5 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 10 s (N=2000)

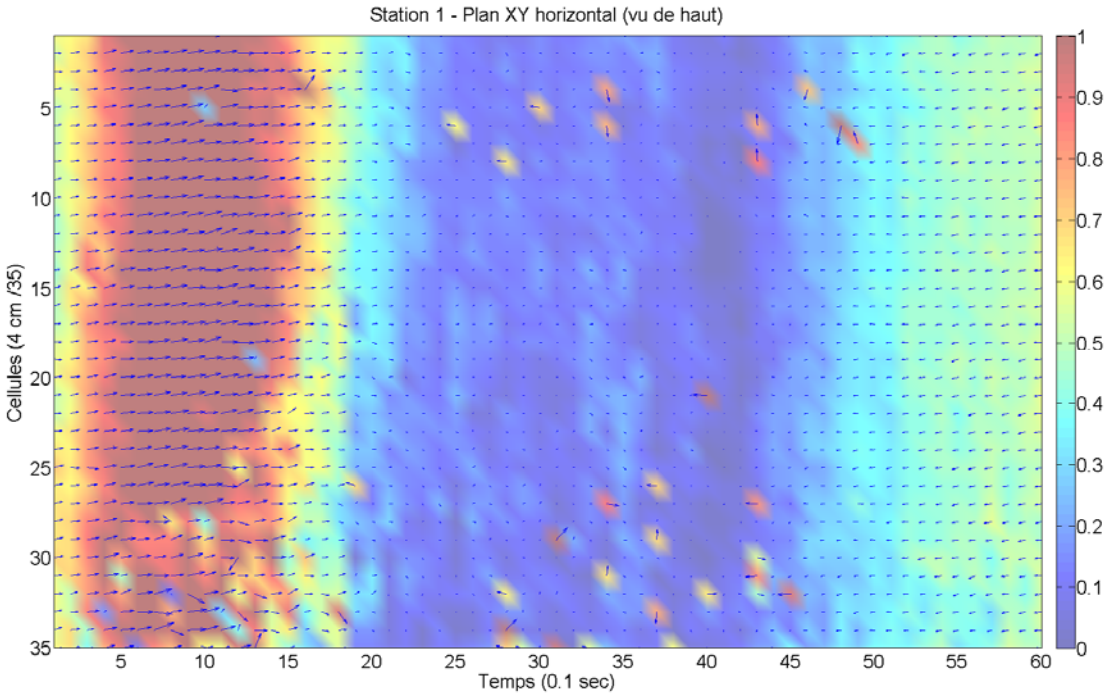


Figure 96. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XY) à la station 1 pour une profondeur (d) de 2,5 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 10 s (n = 4030 à 4089)

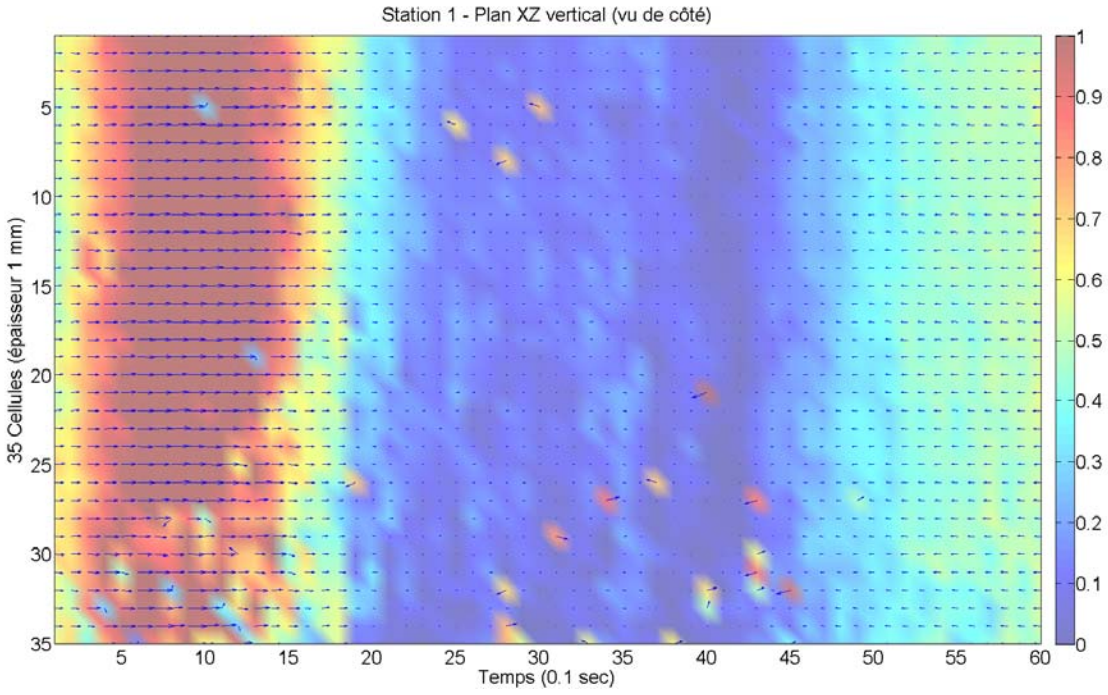


Figure 97. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan vertical (XZ) à la station 1 pour une profondeur (d) de 2,5 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 10 s (n = 4030 à 4089)

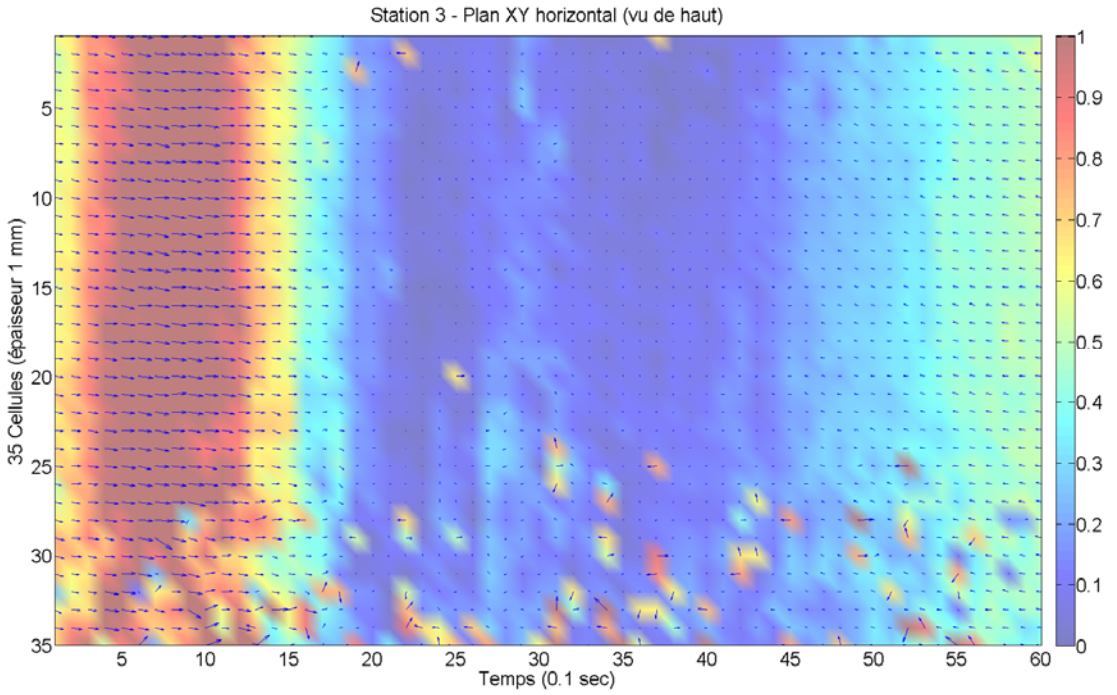


Figure 98. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XY) à la station 3 pour une profondeur (d) de 2,5 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 10 s (n = 4060 à 4119)

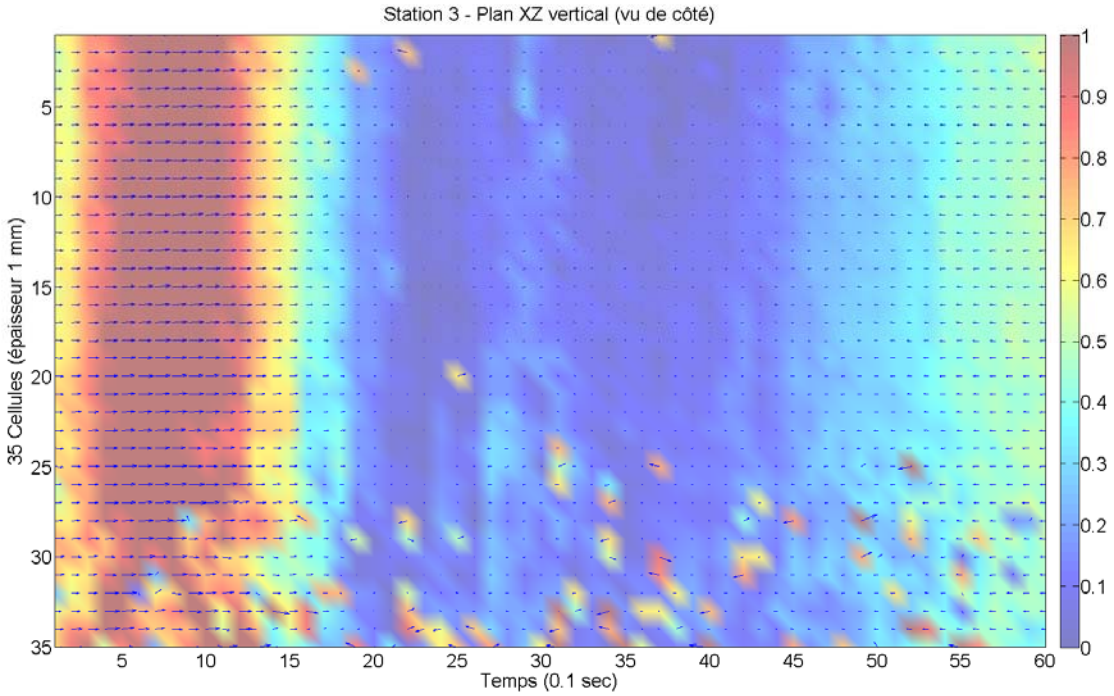


Figure 99. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan vertical (XZ) à la station 3 pour une profondeur (d) de 2,5 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 10 s (n = 4060 à 4119)

5.2.3 Profondeur d'eau (d) de 2,5 mètres et hauteur de vague (H) de 1,5 mètre

Période de 6 secondes:

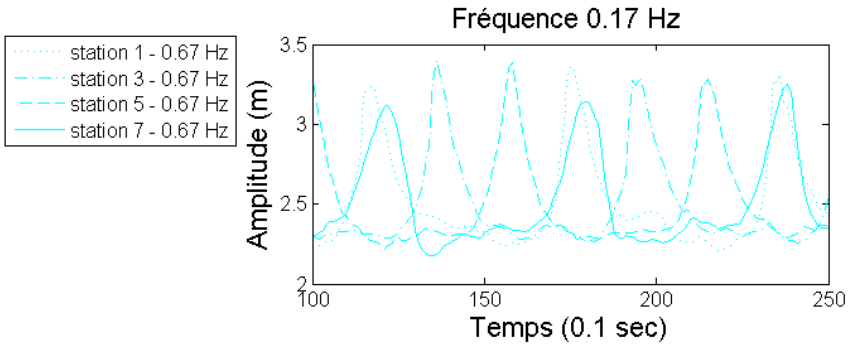


Figure 100. Niveaux d'eau enregistrés aux stations 1, 3, 5 et 7 pour une profondeur d'eau de 2,5 mètres, des vagues de 1,5 mètre de hauteur une période de 6 secondes

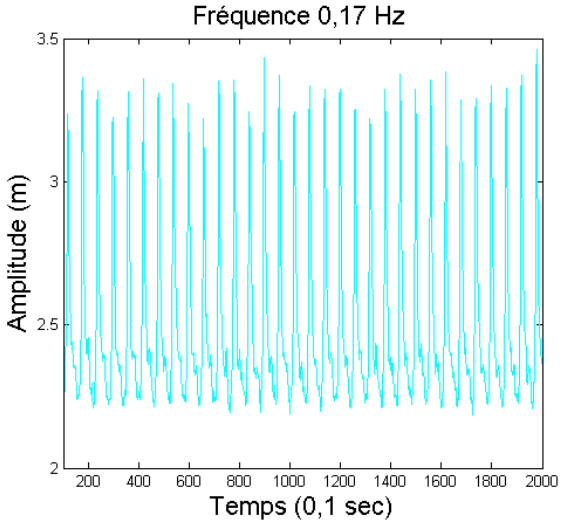


Figure 101. Niveaux d'eau enregistrés à la station 7 pour une profondeur d'eau de 2,5 mètres, des vagues de 1,5 mètre de hauteur et une période de 6 secondes

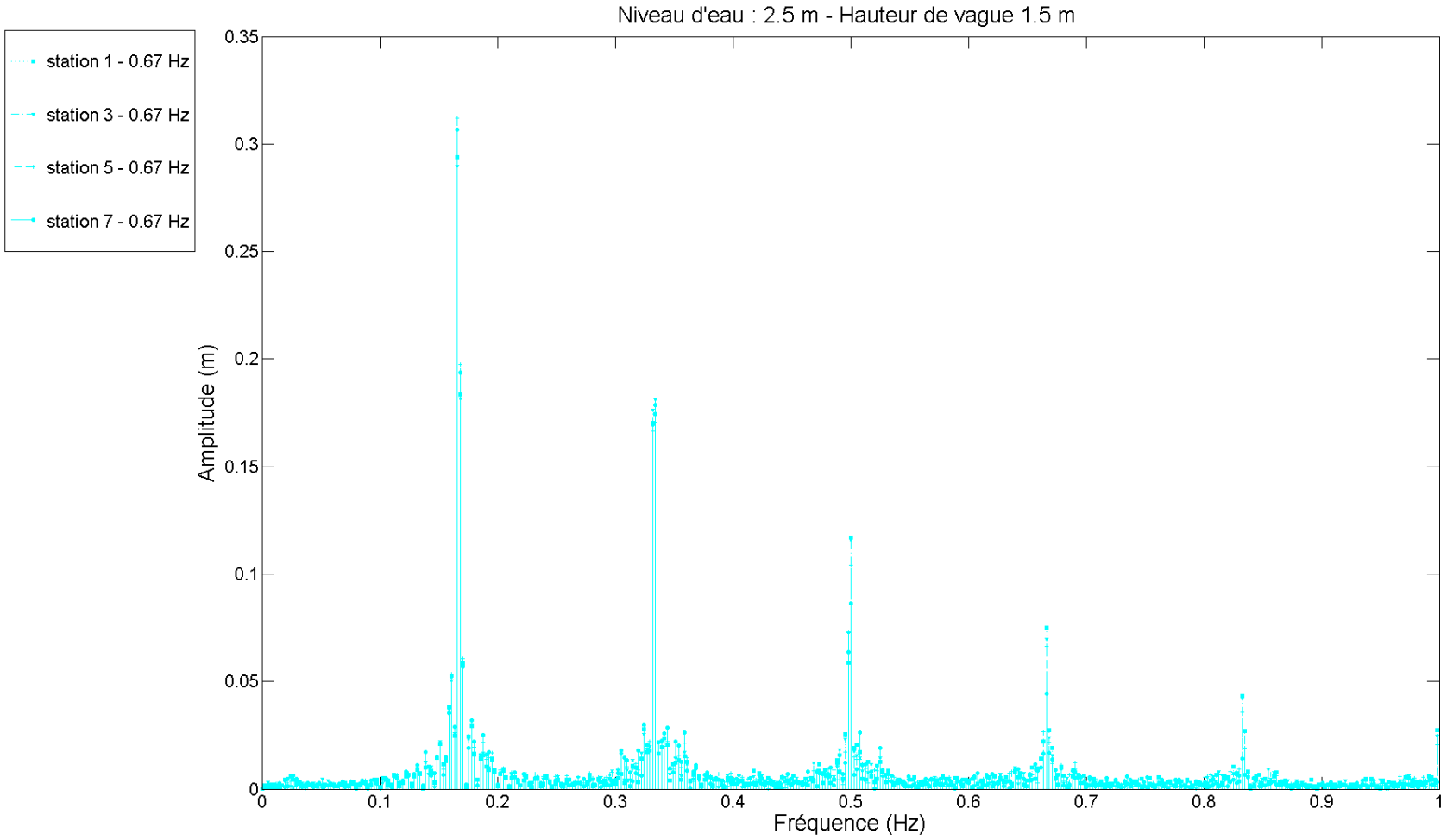


Figure 102. Transformée de Fourier: Résultats de l'analyse spectrale pour une profondeur d'eau de 2,5 m et une hauteur de vague de 1,5 m en fonction de la période de 6 s (0,17 Hz), pour les quatre stations d'échantillonnage du canal

Période de 6 secondes:

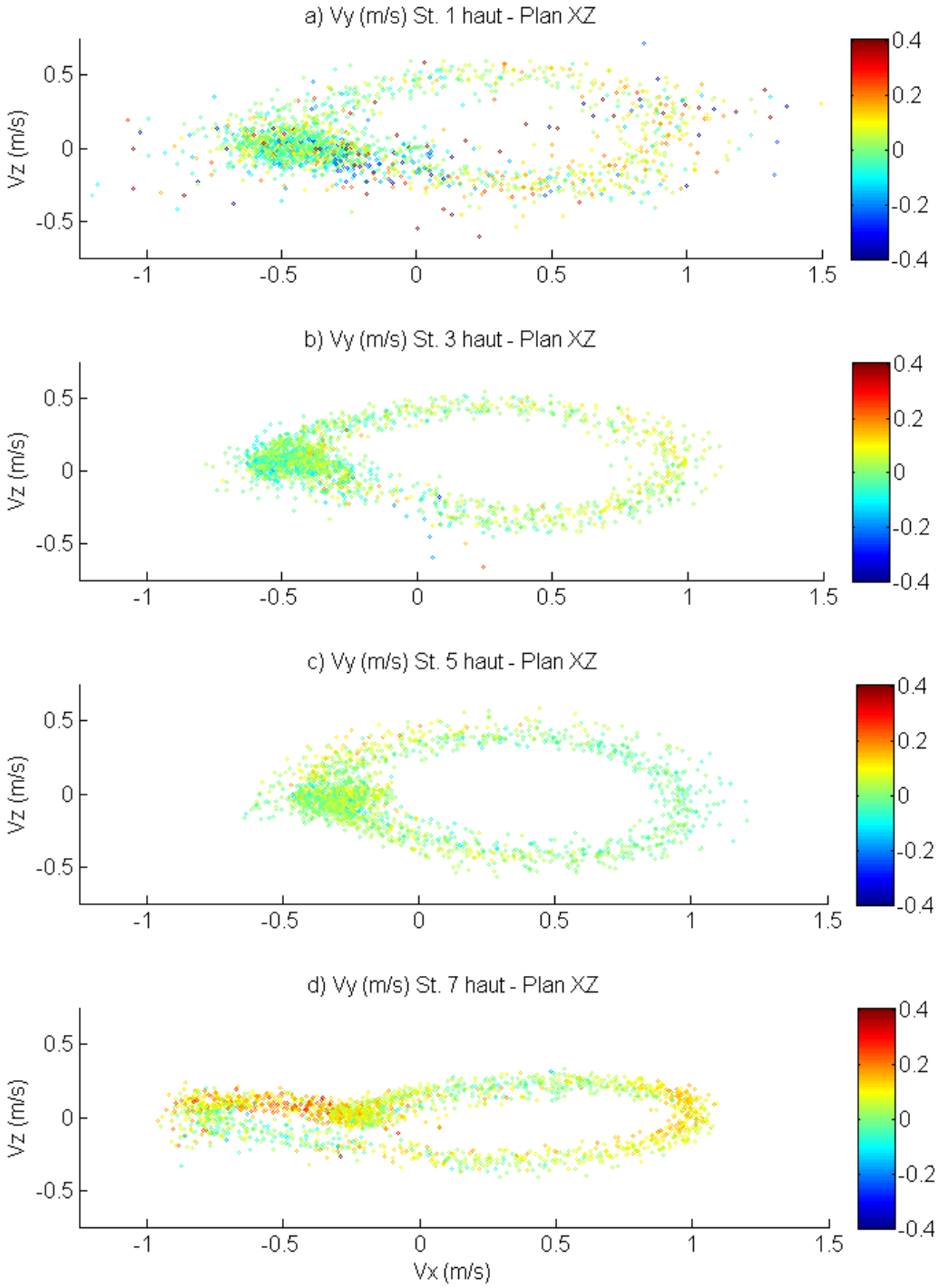


Figure 103. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino I situés en haut des quatre stations (a, b, c et d) pour une profondeur (d) de 2,5 m, une hauteur de vague (H) de 1,5 m et une période (T) de 6 s (N=2000)

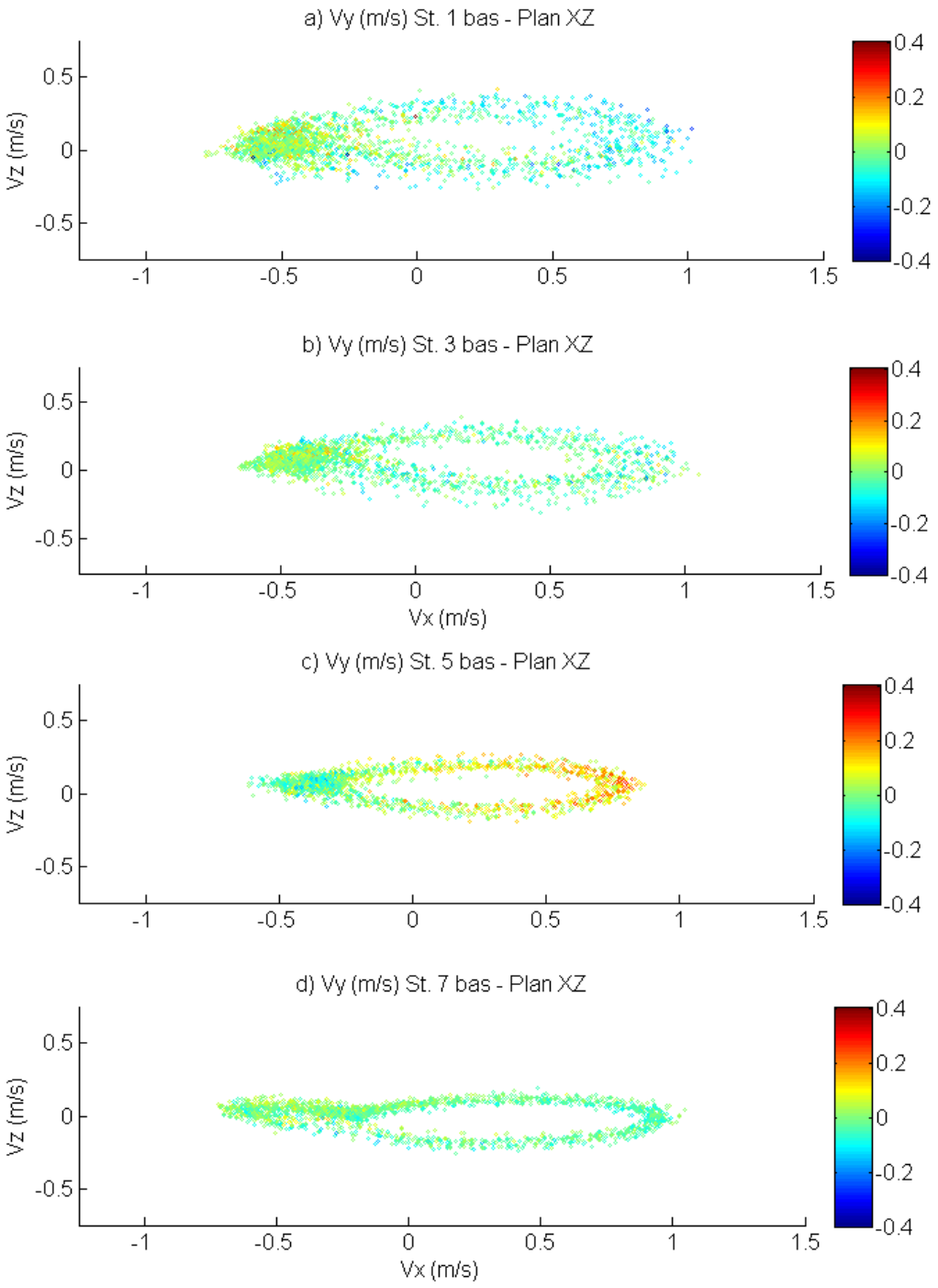


Figure 104. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino I situés au bas des quatre stations (a, b, c et d) pour une profondeur (d) de 2,5 m, une hauteur de vague (H) de 1,5 m et une période (T) de 6 s (N=2000)

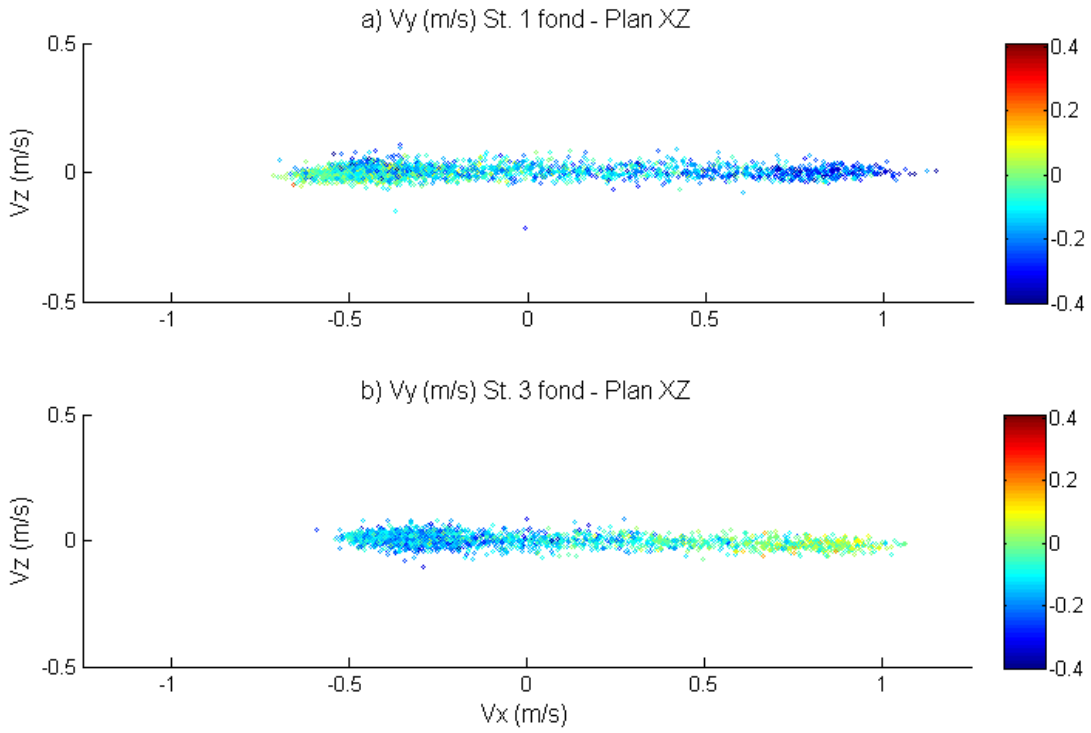


Figure 105. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino II situés au fond du canal aux stations a) 1 et b) 3 pour une profondeur (d) de 2,5 m, une hauteur de vague (H) de 1,5 m et une période (T) de 6 s (N=3500)

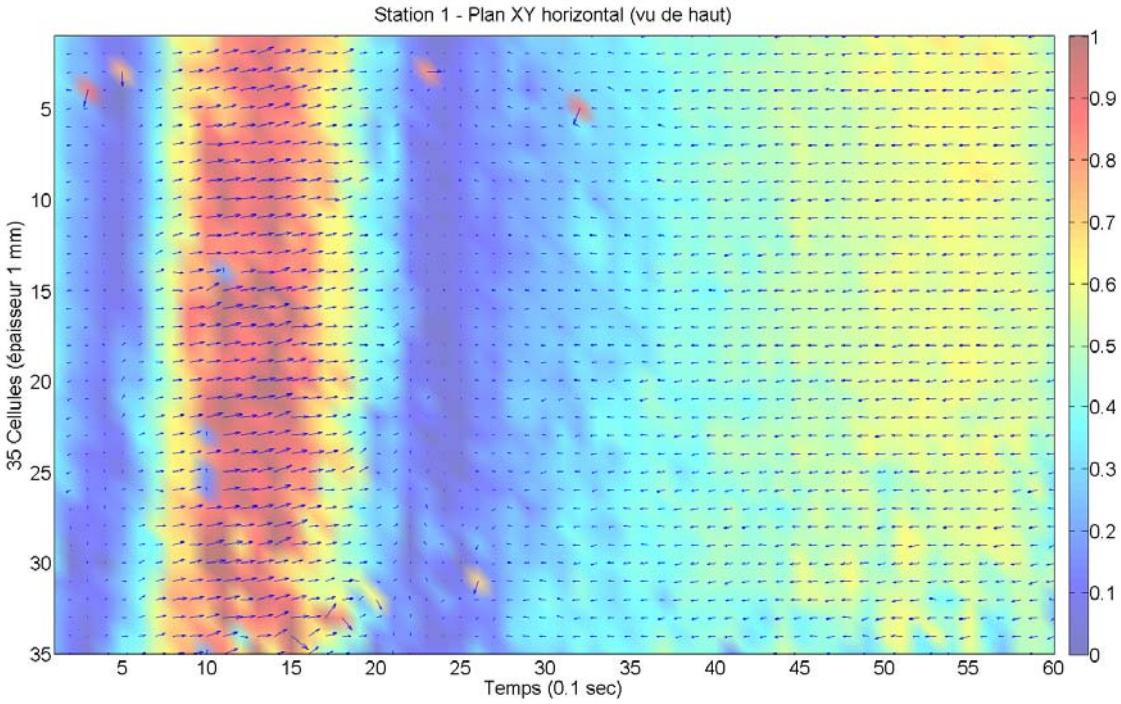


Figure 106. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XY) à la station 1 pour une profondeur (d) de 2,5 m, une hauteur de vague (H) de 1,5 m et une période (T) de 6 s (n = 1165 à 1224)

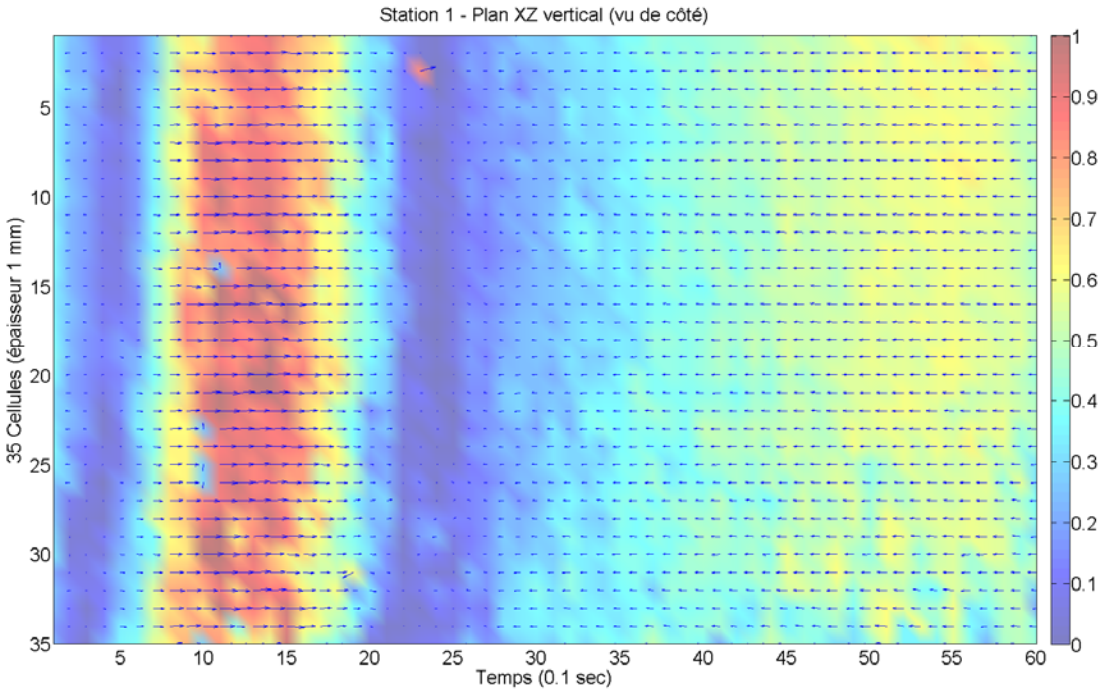


Figure 107. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan vertical (XZ) à la station 1 pour une profondeur (d) de 2,5 m, une hauteur de vague (H) de 1,5 m et une période (T) de 6 s (n = 1165 à 1224)

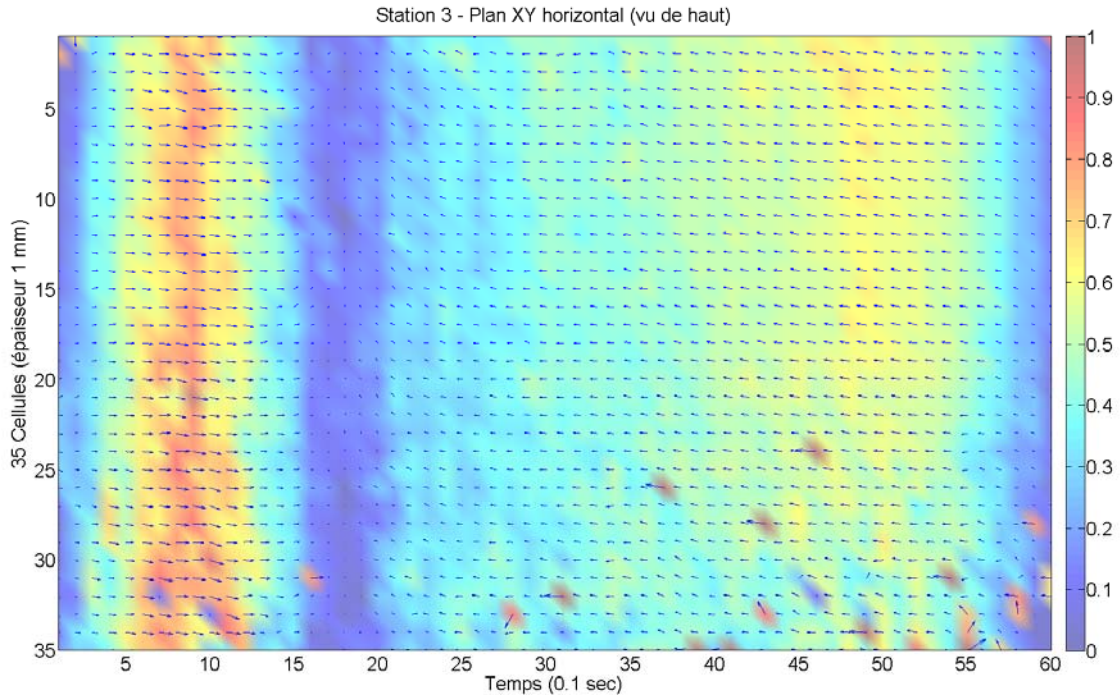


Figure 108. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XY) à la station 3 pour une profondeur (d) de 2,5 m, une hauteur de vague (H) de 1,5 m et une période (T) de 6 s (n = 1185 à 1284)

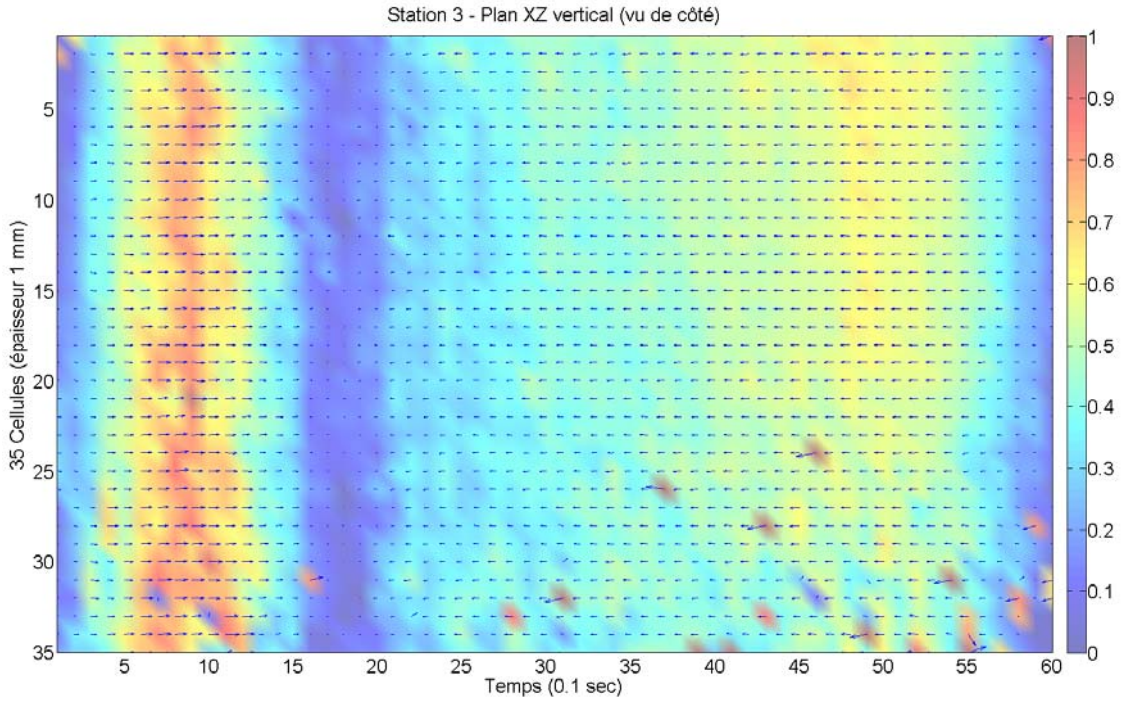


Figure 109. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan vertical (XZ) à la station 3 pour une profondeur (d) de 2,5 m, une hauteur de vague (H) de 1,5 m et une période (T) de 6 s (n = 1185 à 1284)

5.2.4 Profondeur d'eau (d) de 3 mètres et hauteur de vague (H) de 0,5 mètre

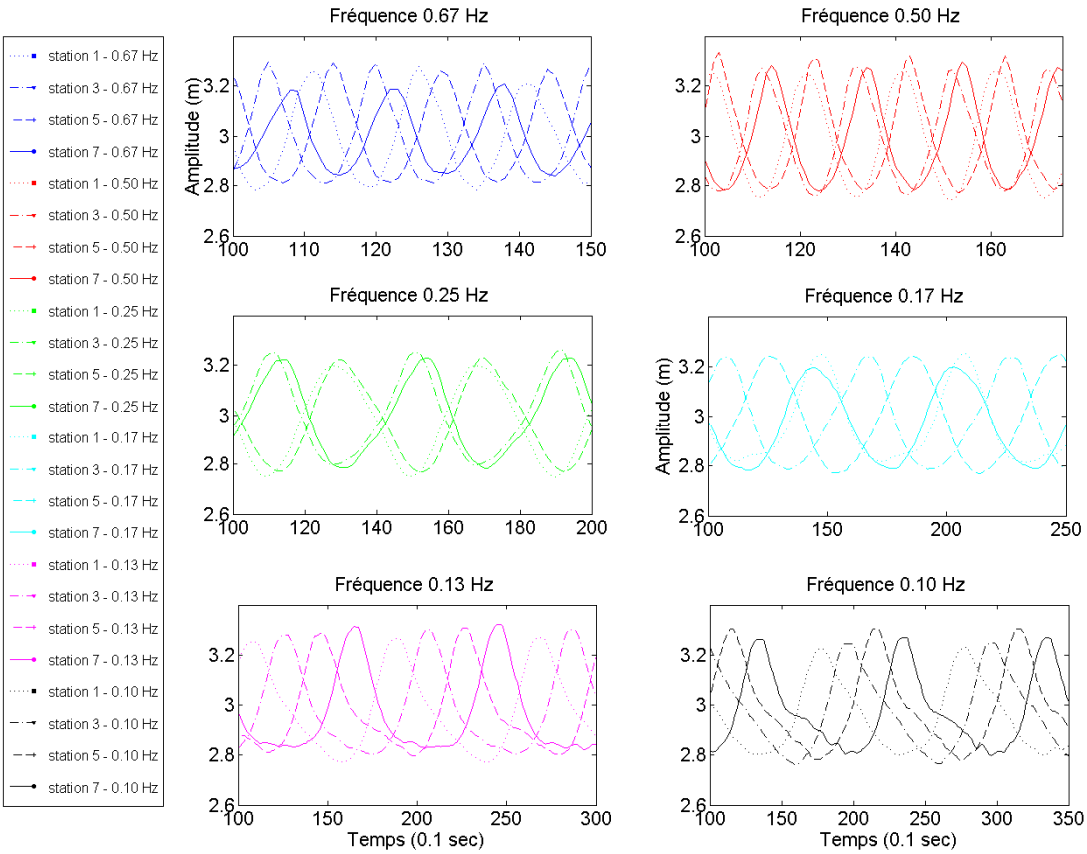


Figure 110. Niveaux d'eau enregistrés aux stations 1, 3, 5 et 7 pour une profondeur d'eau de 3 mètres, des vagues de 0,5 mètre de hauteur et des périodes de 1,5. 2, 4, 6, 8 et 10 secondes respectivement

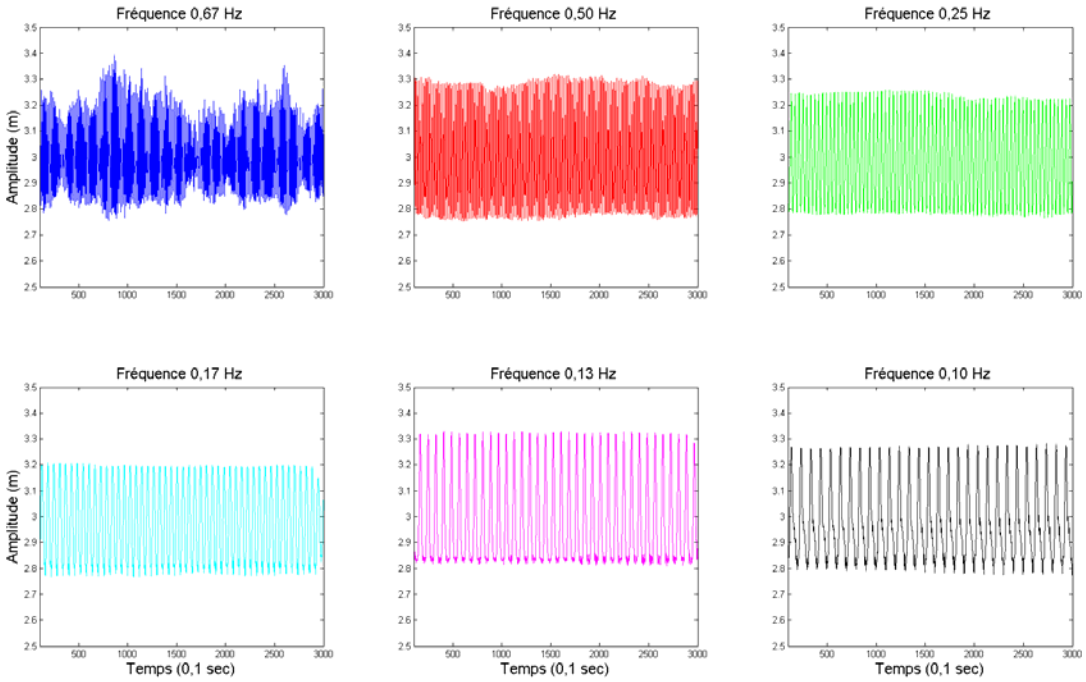


Figure 111. Niveaux d'eau enregistrés à la station 7 pour une profondeur d'eau de 3 mètres, des vagues de 0,5 mètre de hauteur et des périodes de 1,5, 2, 4, 6, 8 et 10 secondes respectivement

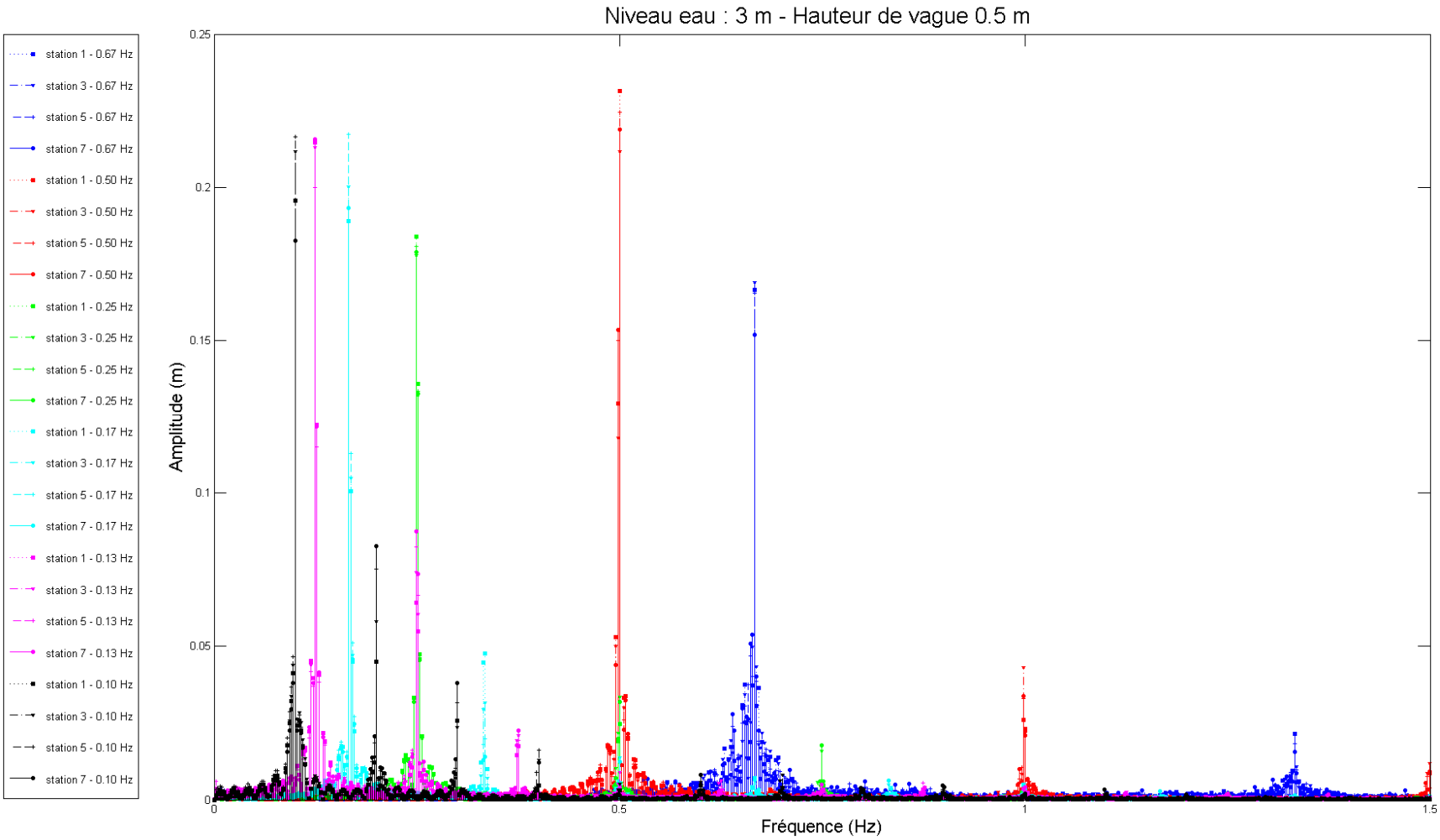


Figure 112. Transformée de Fourier : Résultats de l'analyse spectrale pour une profondeur d'eau de 3 m et une hauteur de vague de 0,5 m en fonction des différentes périodes de 1,5 s (0.67 Hz) 2 s (0,50 Hz), 4 s (0,25 Hz), 6 s (0,17 Hz), 8 s (0,13 Hz) et 10 s (0,10Hz) pour les quatre stations d'échantillonnage du canal

Période de 1,5 secondes:

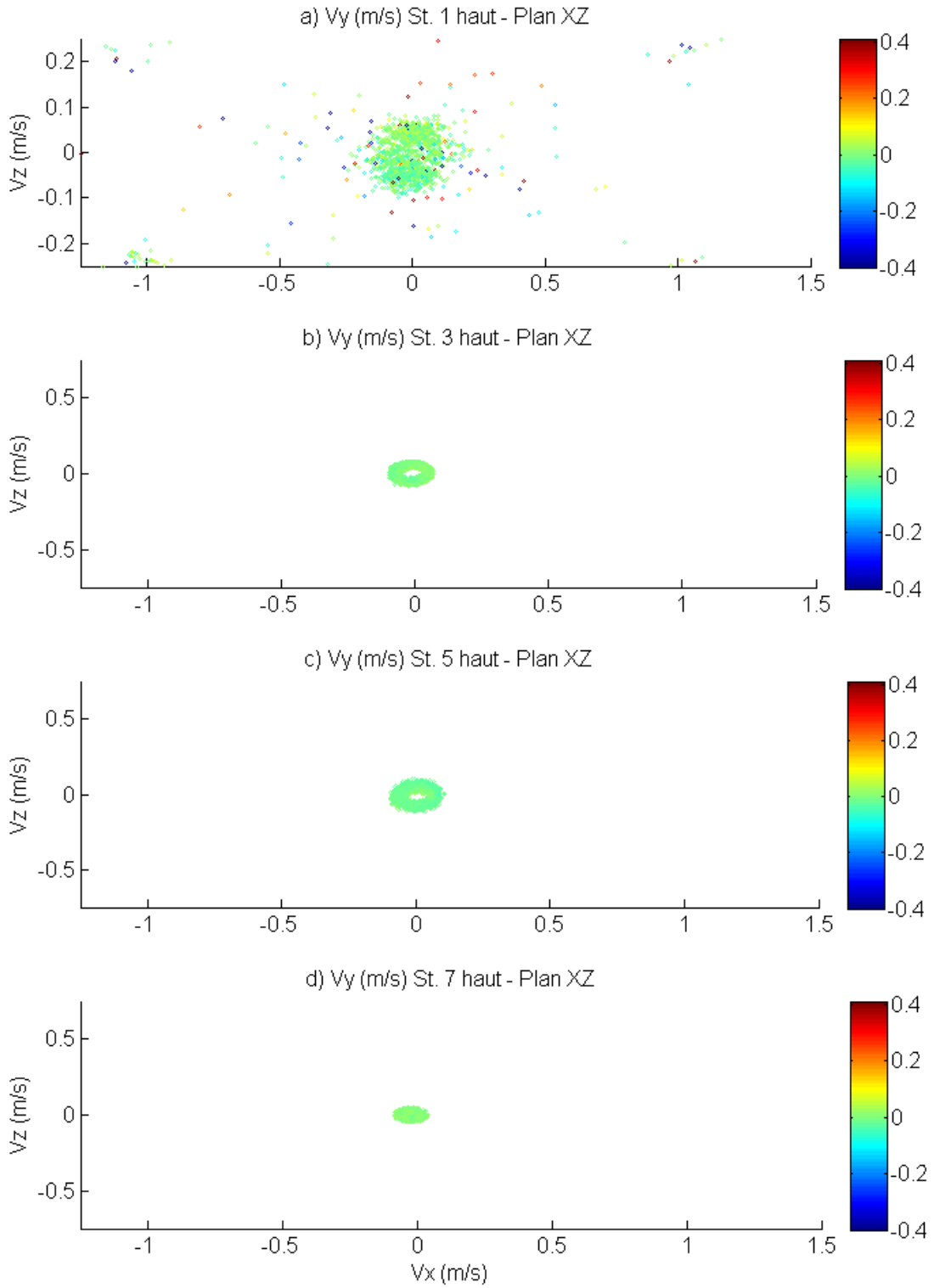


Figure 113. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino I situés en haut des quatre stations (a, b, c et d) pour une profondeur (d) de 3 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 1,5 s (N=2000)

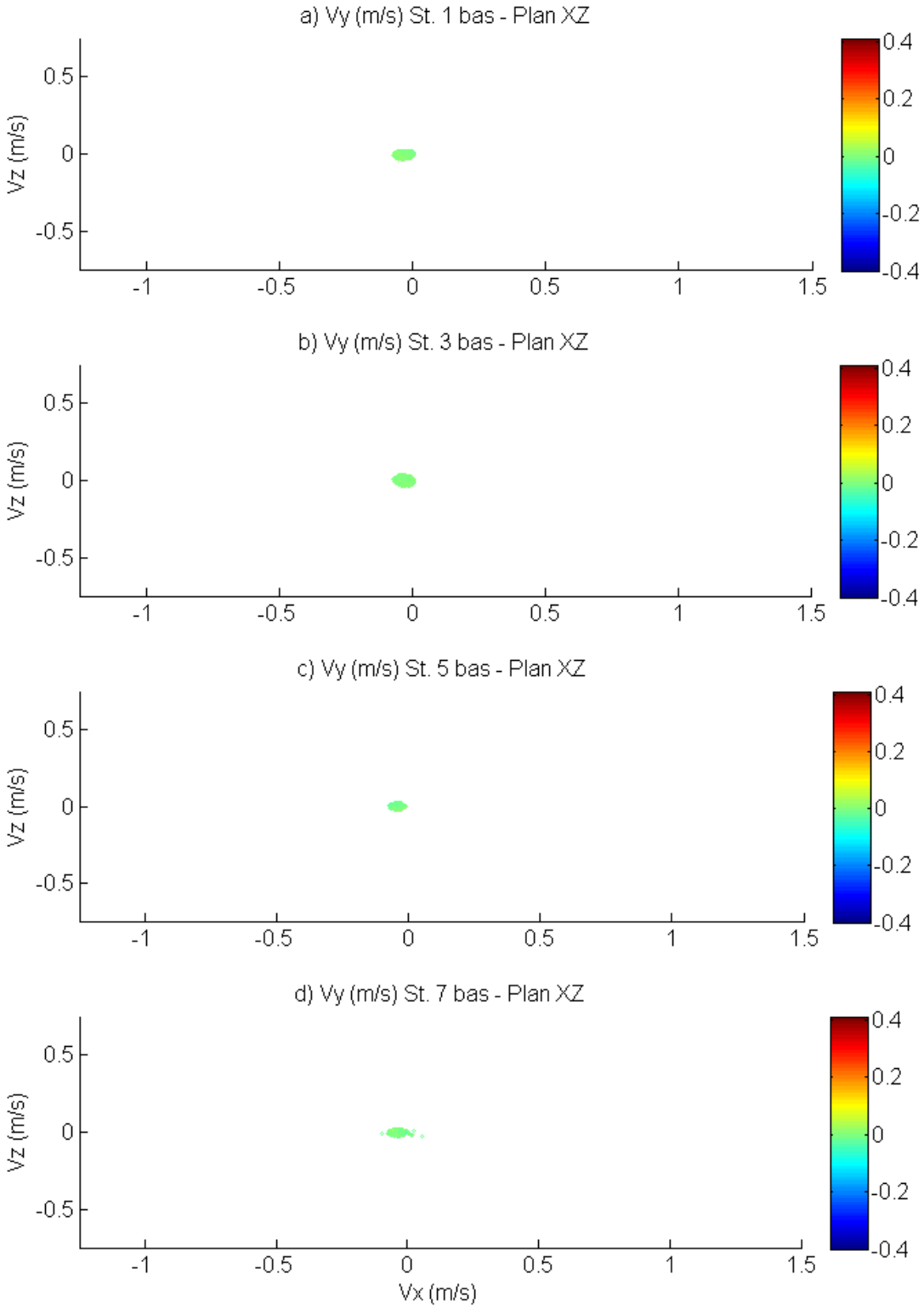


Figure 114. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino I situés au bas des quatre stations (a, b, c et d) pour une profondeur (d) de 3 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 1,5 s (N=2000)

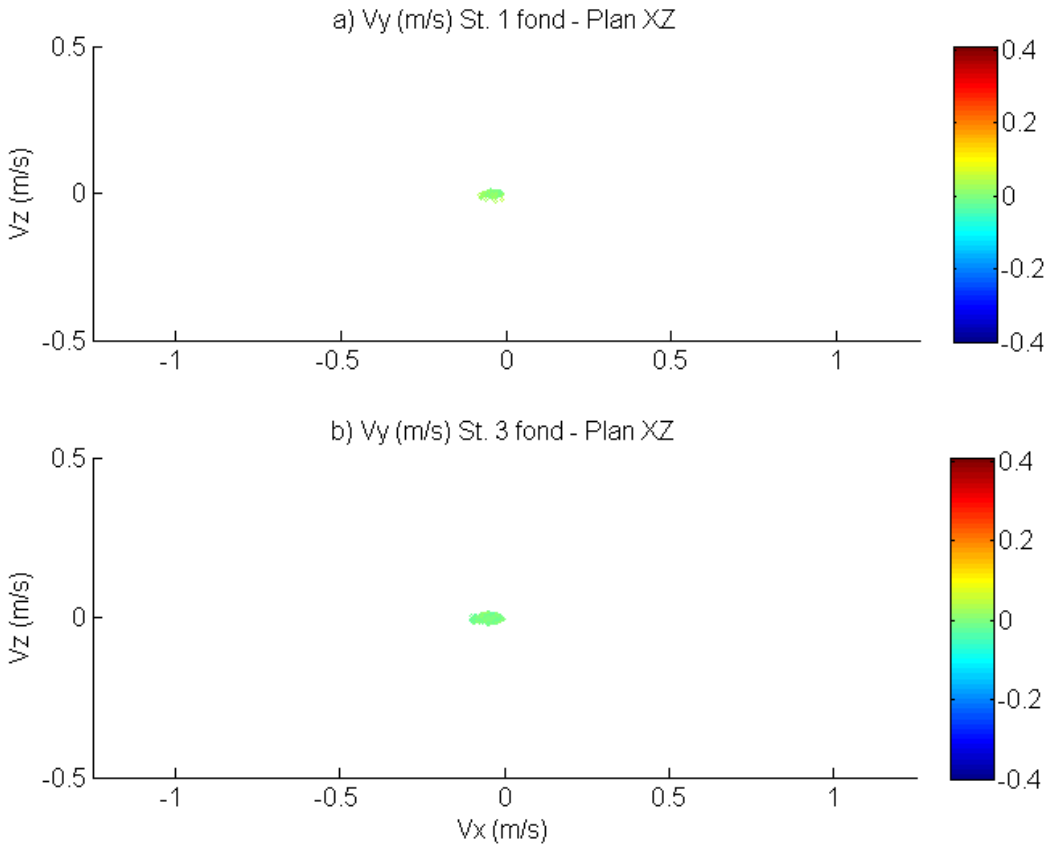


Figure 115. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino II situés au fond du canal aux stations a) 1 et b) 3 pour une profondeur (d) de 3 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 1,5 s (N=3500)

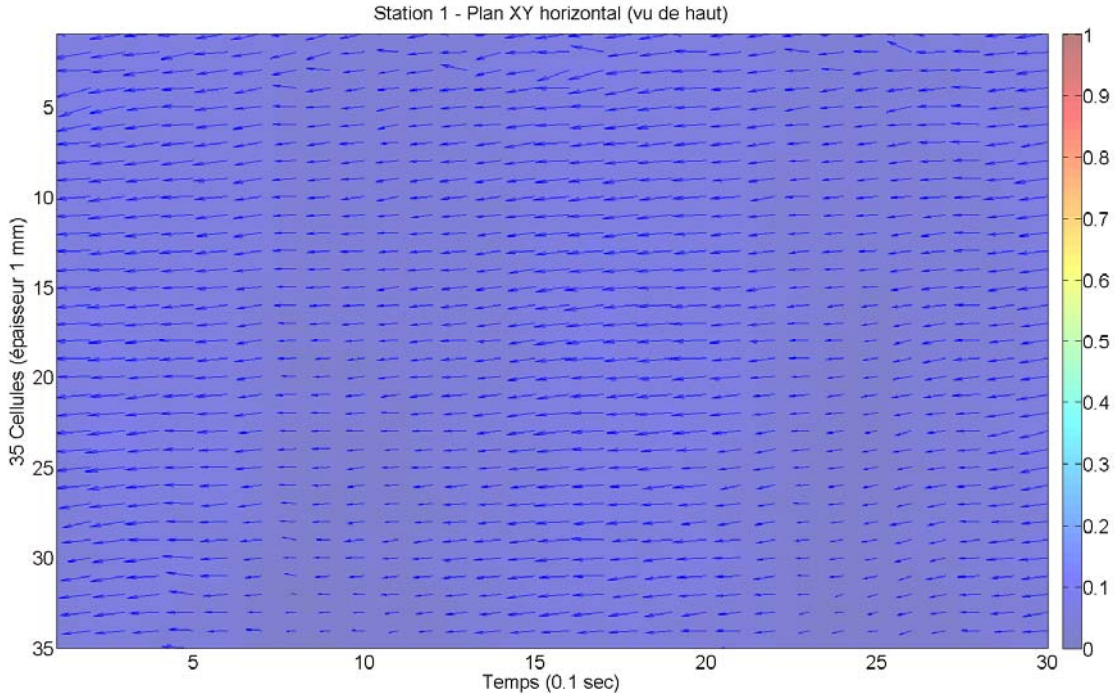


Figure 116. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XY) à la station 1 pour une profondeur (d) de 3 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 1,5 s (n = 1600 à 1629)

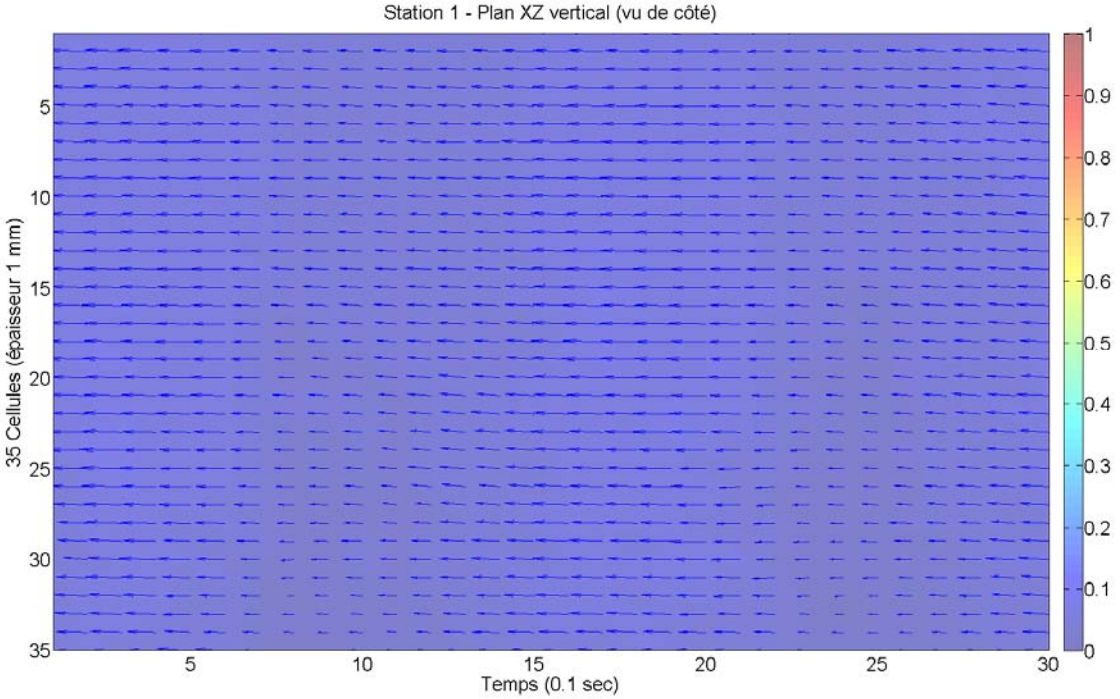


Figure 117. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan vertical (XZ) à la station 1 pour une profondeur (d) de 3 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 1,5 s (n = 1600 à 1629)

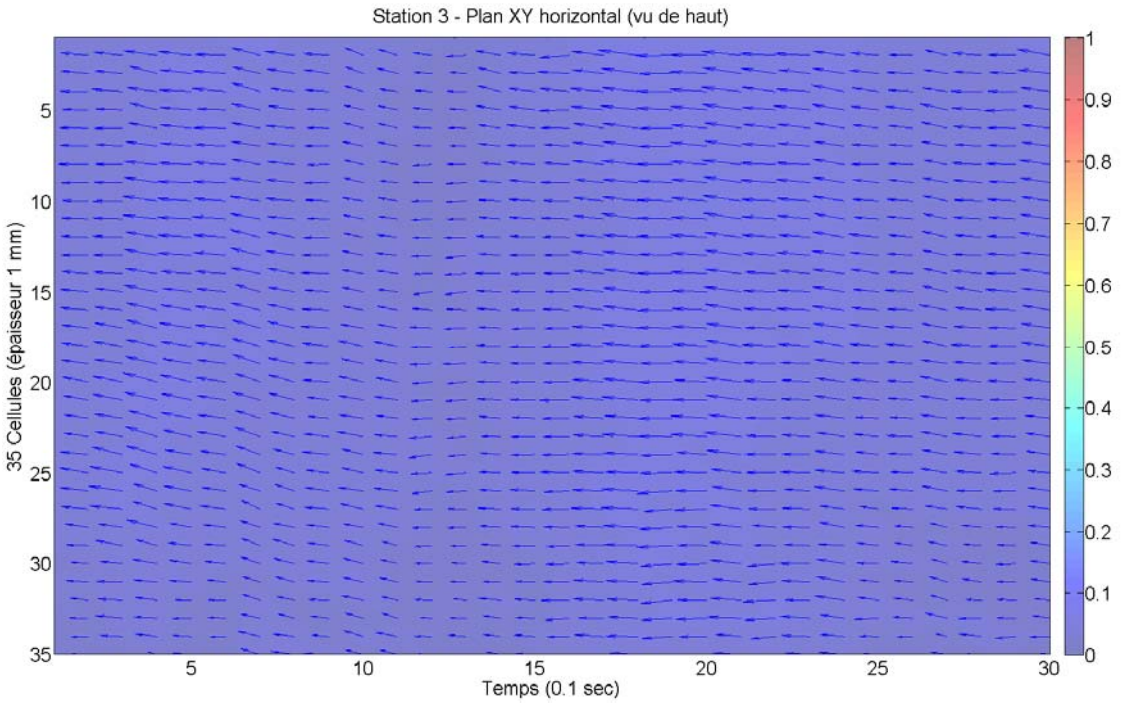


Figure 118. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XY) à la station 3 pour une profondeur (d) de 3 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 1,5 s (n = 1665 à 1694)

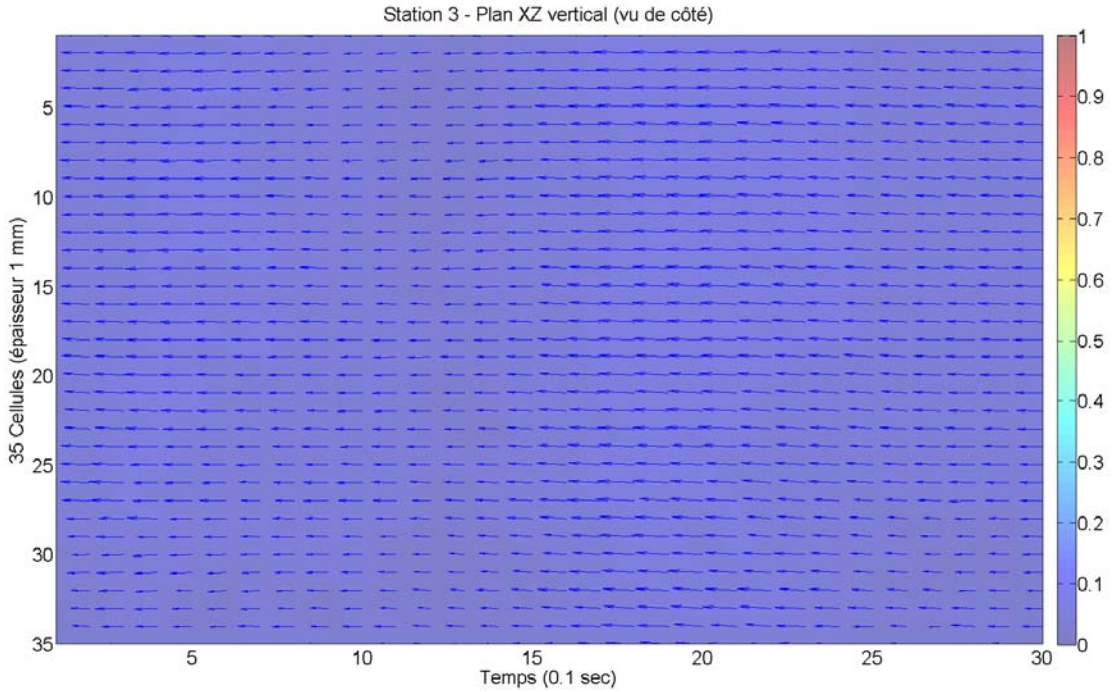


Figure 119. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan vertical (XZ) à la station 3 pour une profondeur (d) de 3 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 1,5 s (n = 1665 à 1694)

Période de 2 secondes:

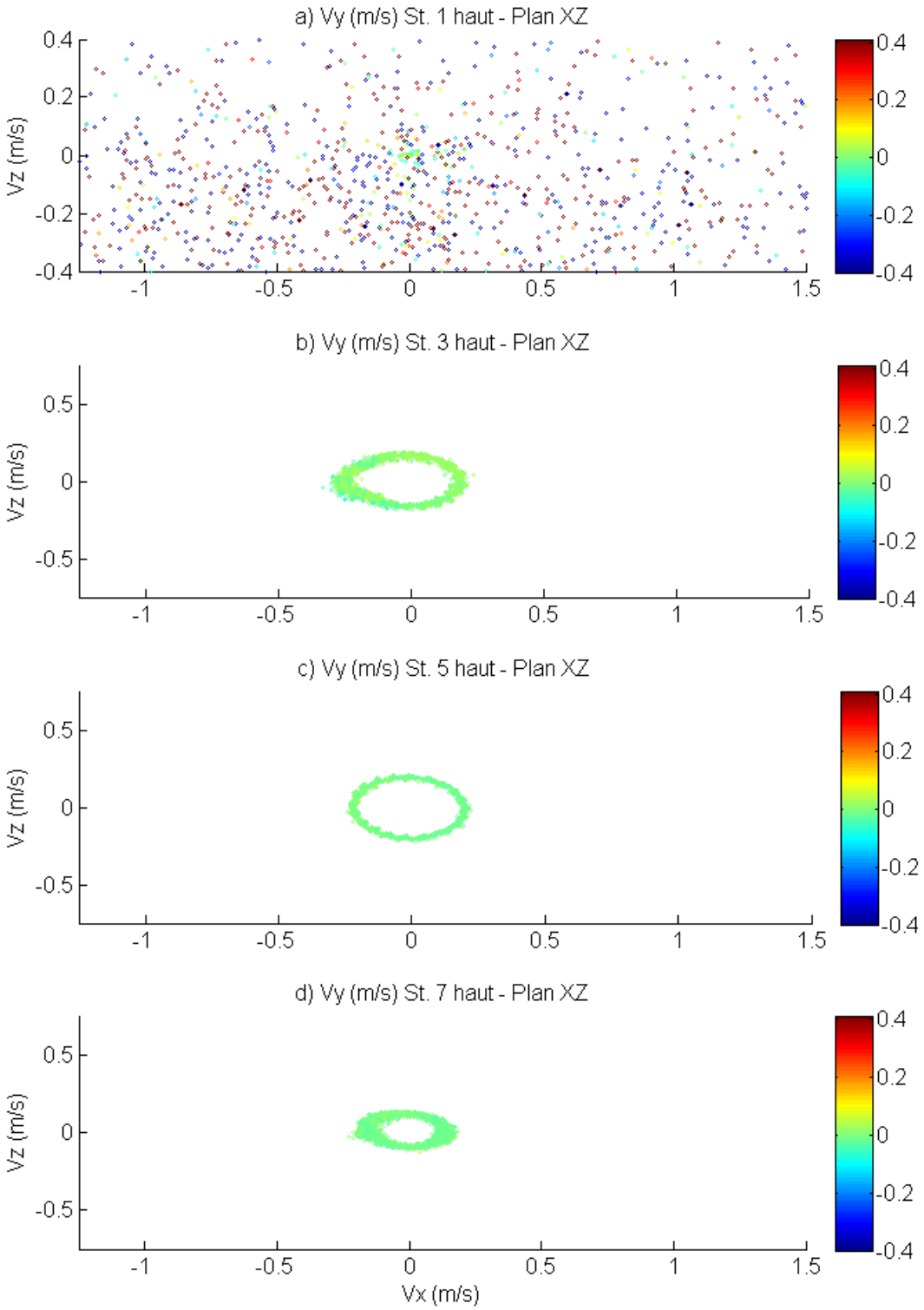


Figure 120. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino I situés en haut des quatre stations (a, b, c et d) pour une profondeur (d) de 3 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 2 s (N=2000)

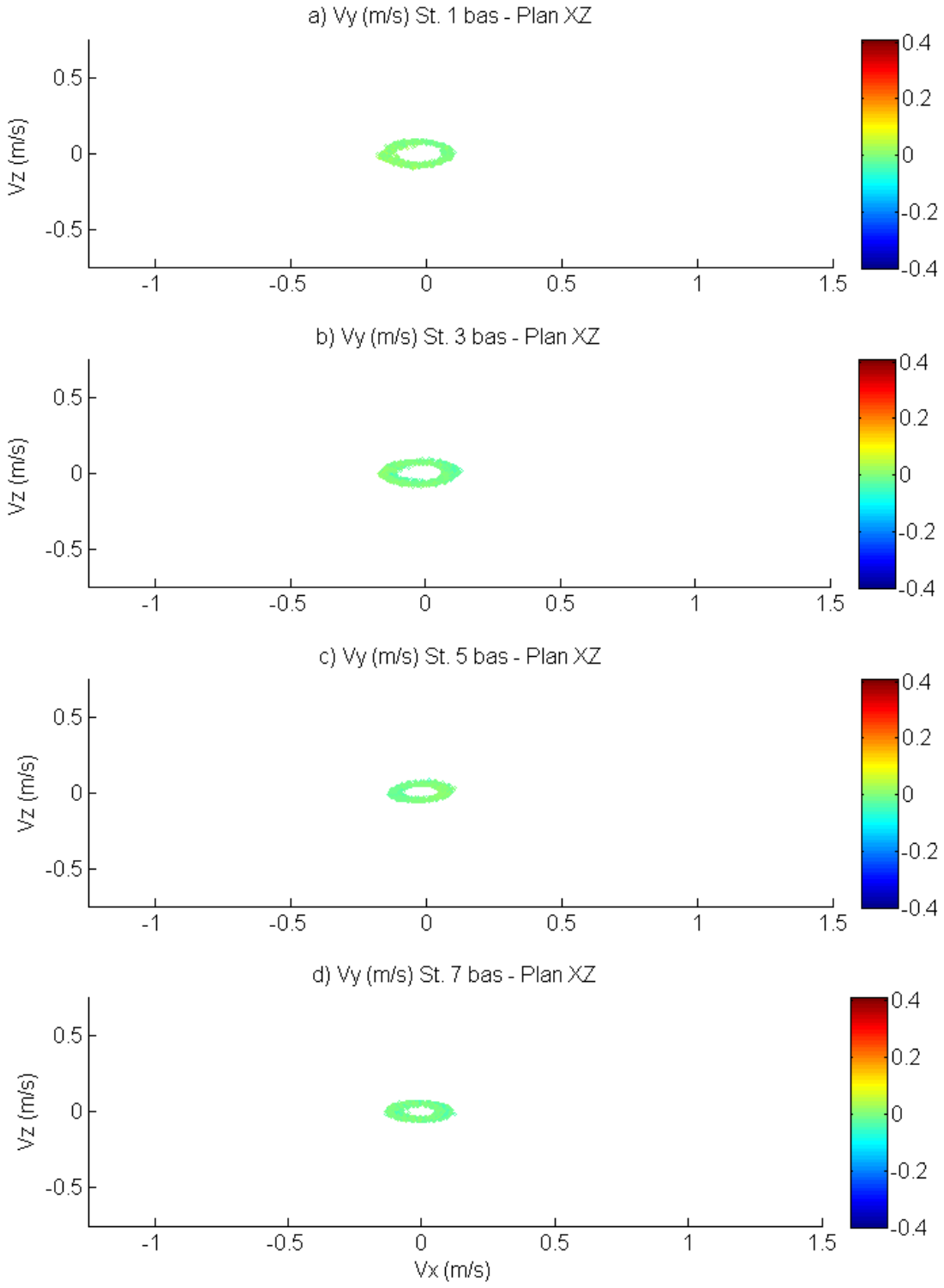


Figure 121. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino I situés au bas des quatre stations (a, b, c et d) pour une profondeur (d) de 3 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 2 s (N=2000)

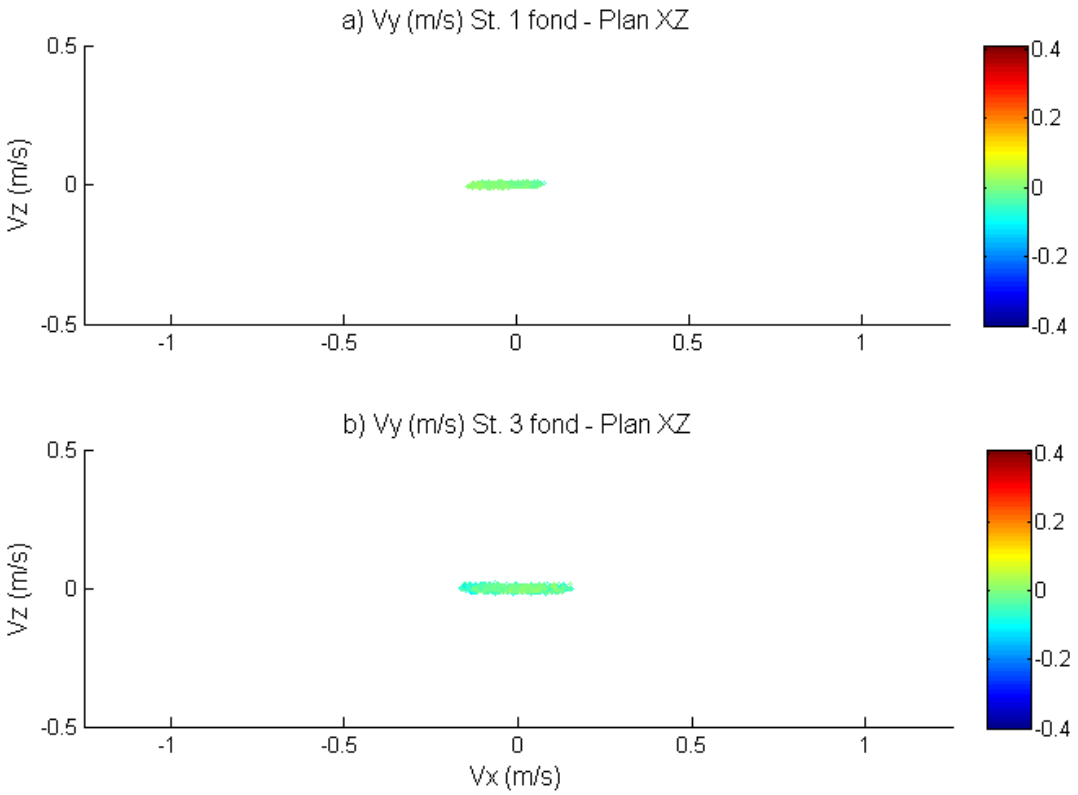


Figure 122. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino II situés au fond du canal aux stations a) 1 et b) 3 pour une profondeur (d) de 3 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 2 s (N=2500)

Note : Problème de stabilité des vitesses, de moins en moins négatives, sur le Vectrino II de la station 3; c'est pour cette raison que l'étendue des vitesses est plus grande

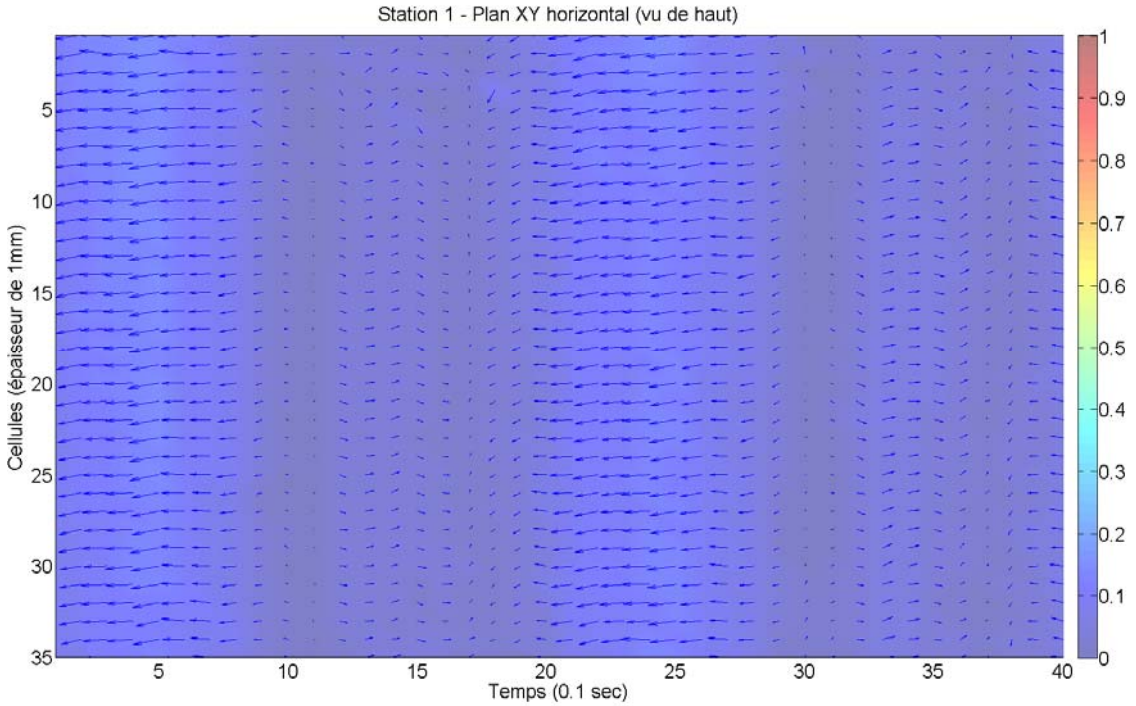


Figure 123. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XY) à la station 1 pour une profondeur (d) de 3 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 2 s (n = 1235 à 1274)

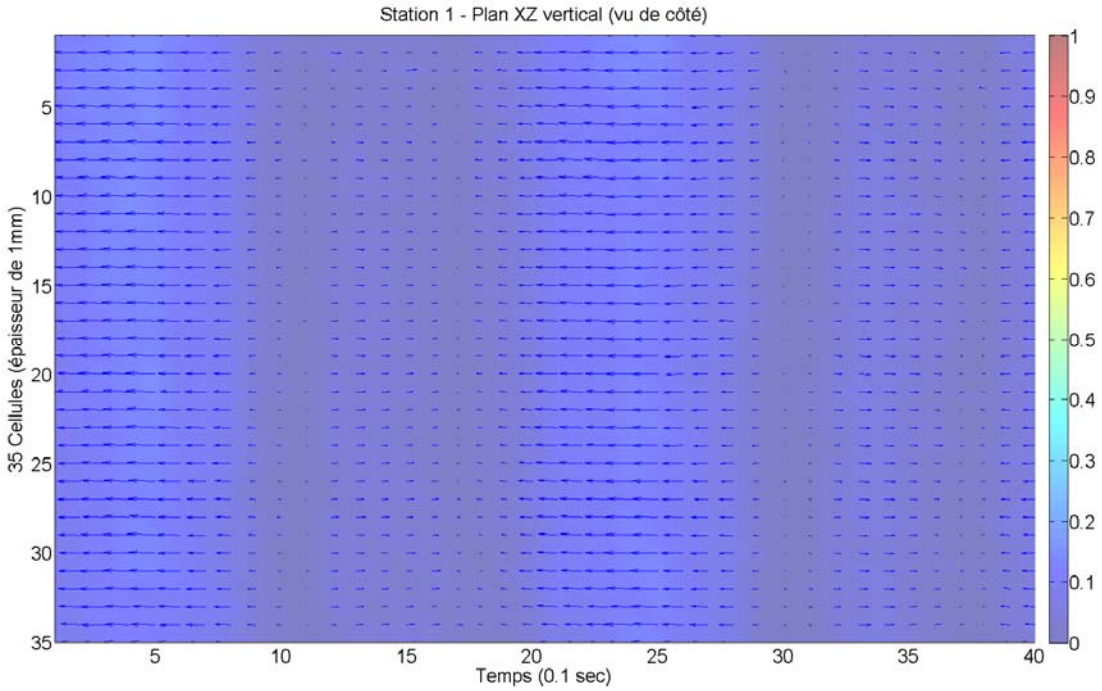


Figure 124. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan vertical (XZ) à la station 1 pour une profondeur (d) de 3 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 2 s (n = 1235 à 1274)

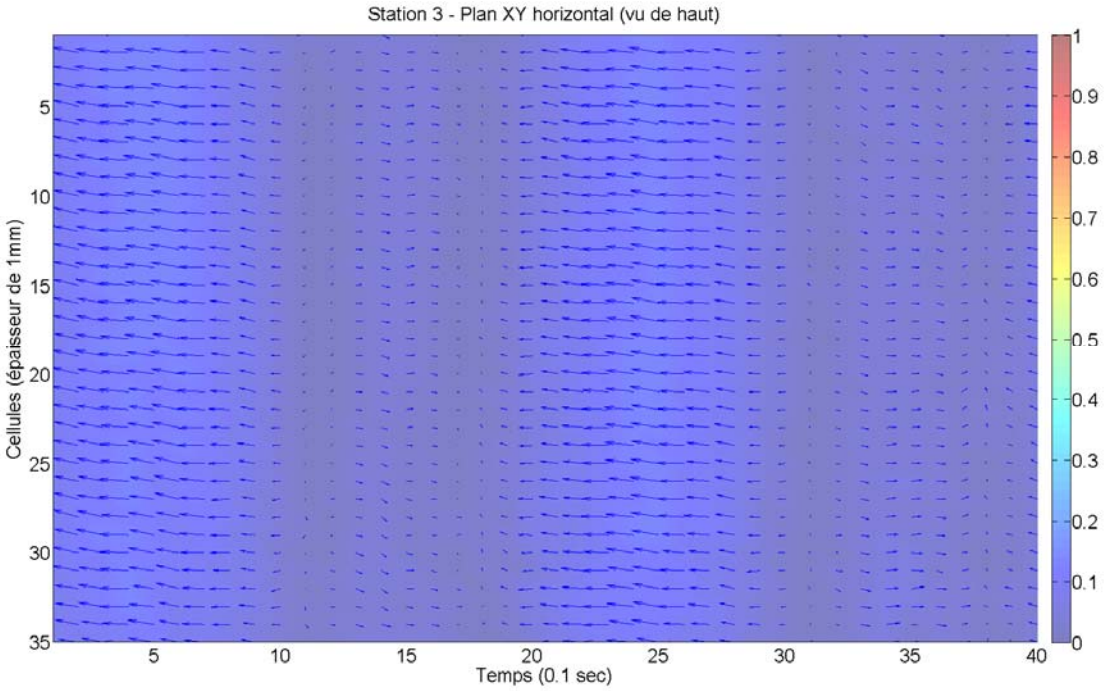


Figure 125. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XY) à la station 3 pour une profondeur (d) de 3 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 2 s (n = 1285 à 1324)

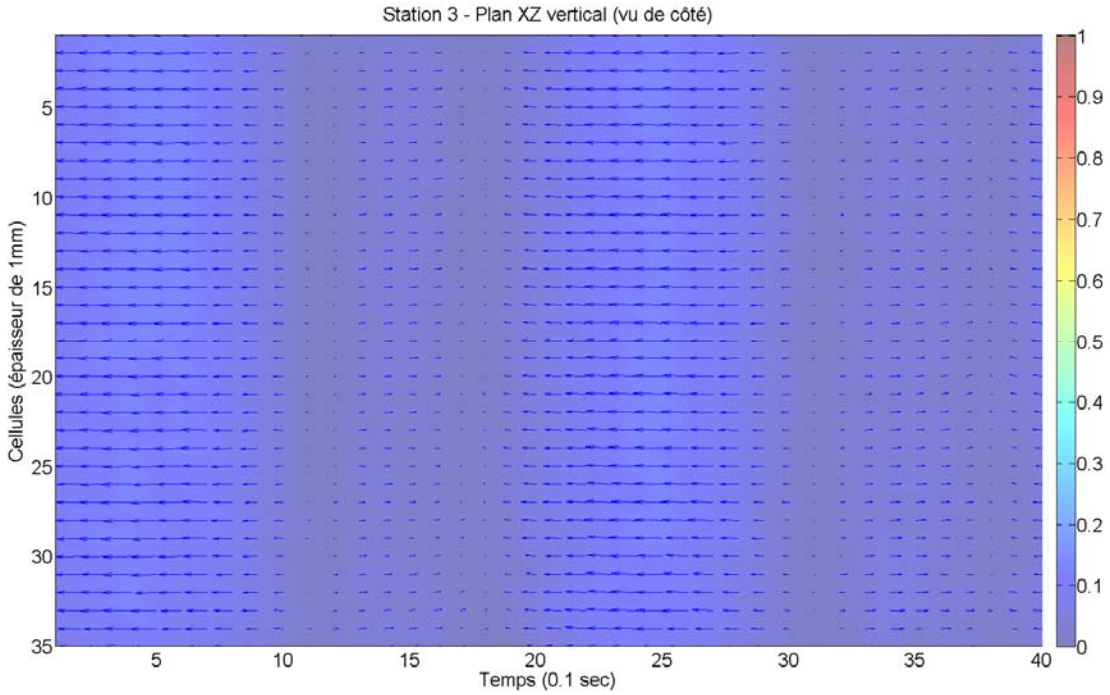


Figure 126. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan vertical (XZ) à la station 3 pour une profondeur (d) de 3 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 2 s (n = 1285 à 1324)

Période de 4 secondes:

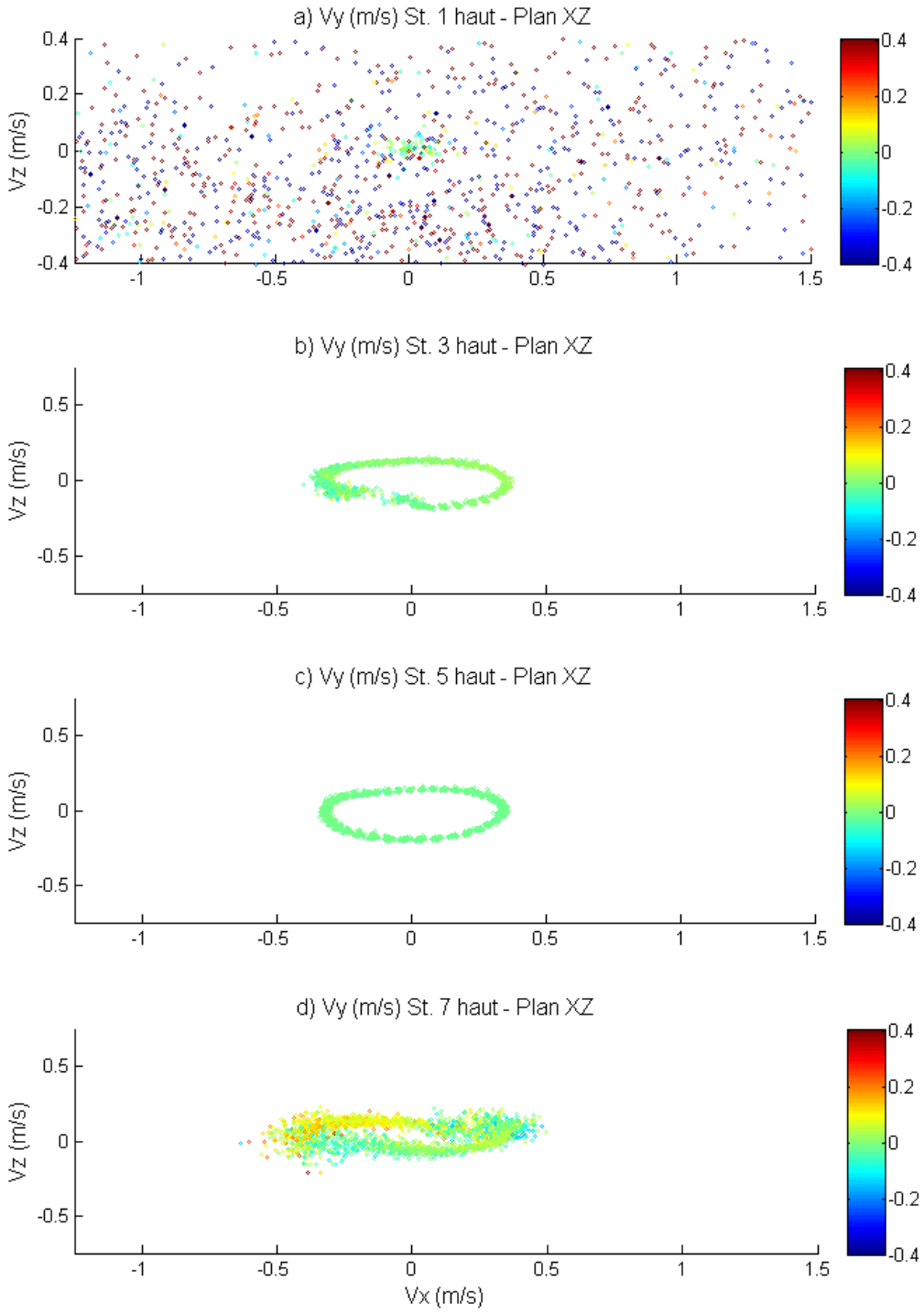


Figure 127. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino I situés en haut des quatre stations (a, b, c et d) pour une profondeur (d) de 3 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 4 s (N=2500)

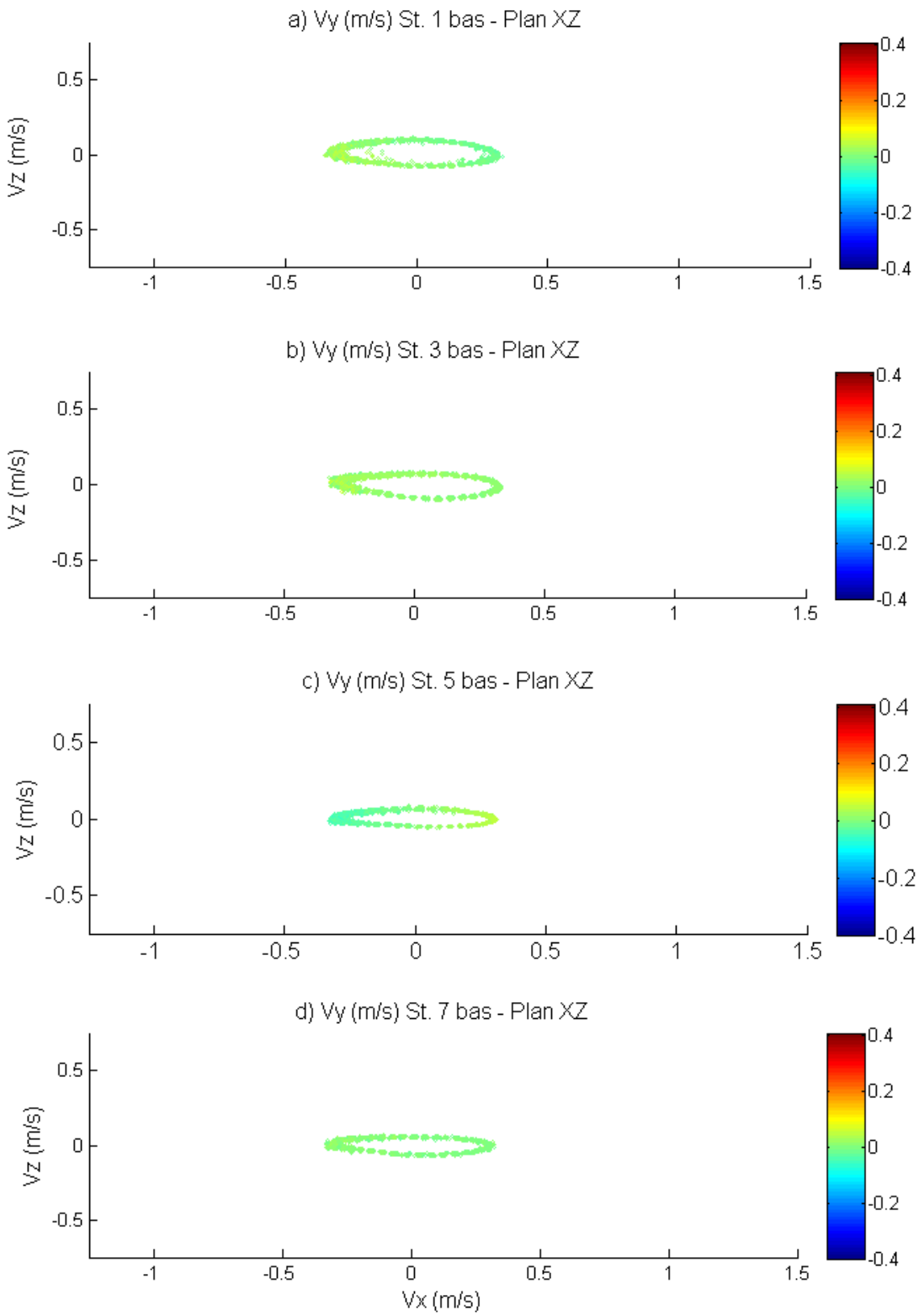


Figure 128. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino I situés au bas des quatre stations (a, b, c et d) pour une profondeur (d) de 3 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 4 s (N=2500)

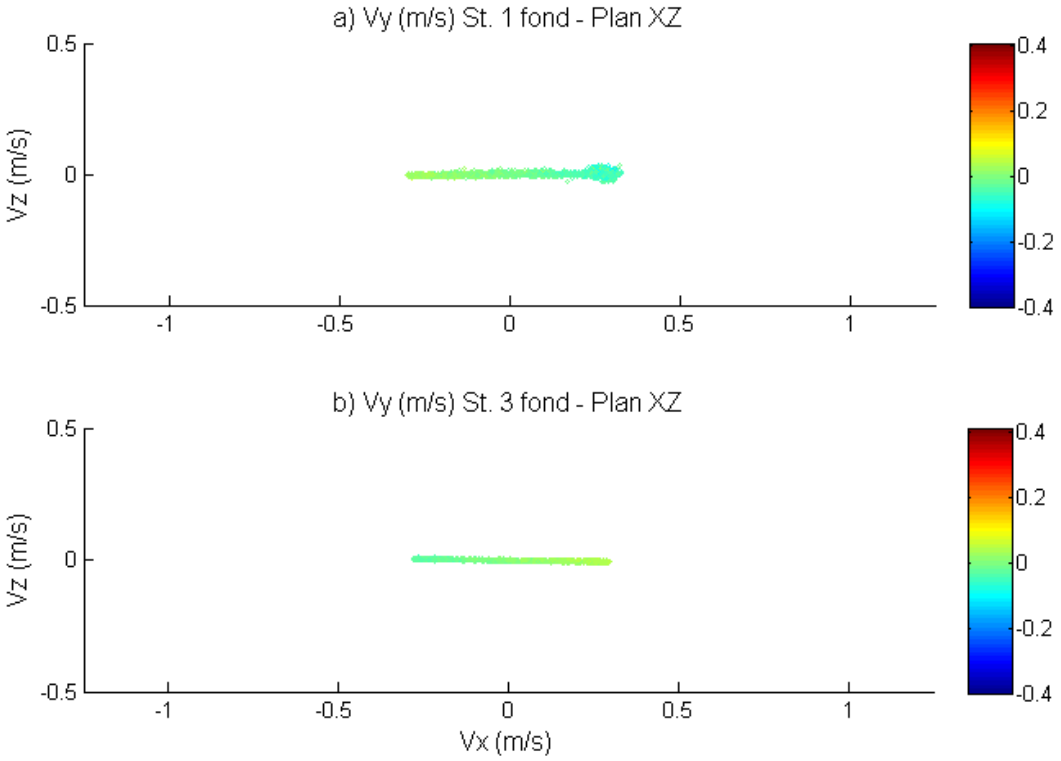


Figure 129. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino II situés au fond du canal aux stations a) 1 et b) 3 pour une profondeur (d) de 3 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 4 s (N=2000)

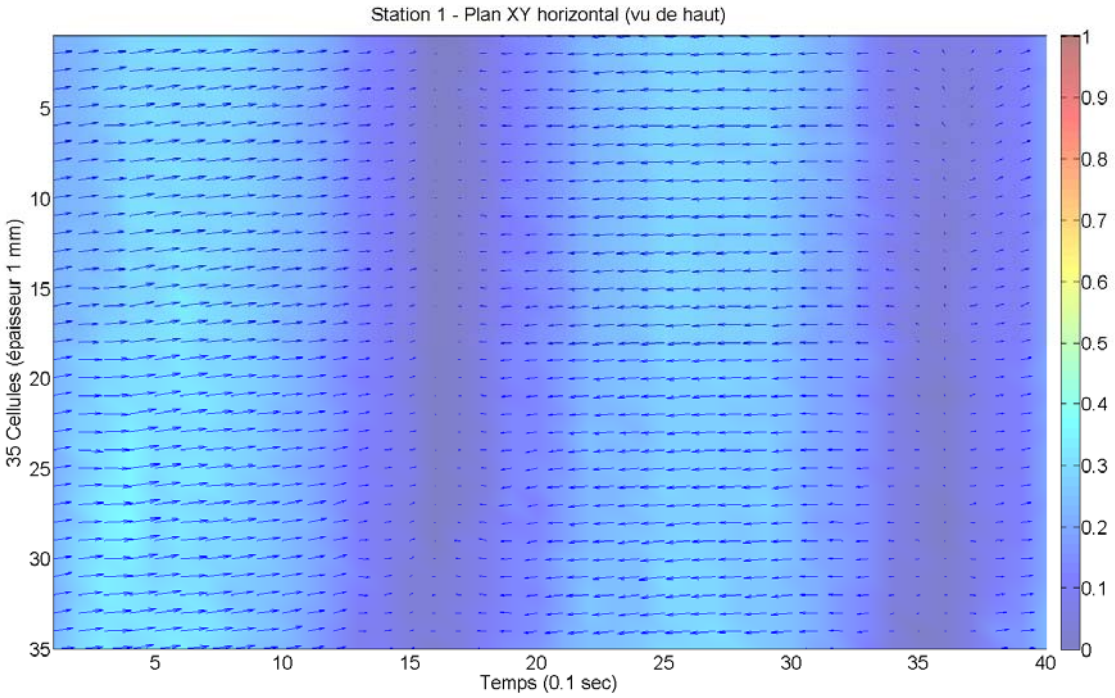


Figure 130. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XY) à la station 1 pour une profondeur (d) de 3 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 4 s (n = 1060 à 1099)

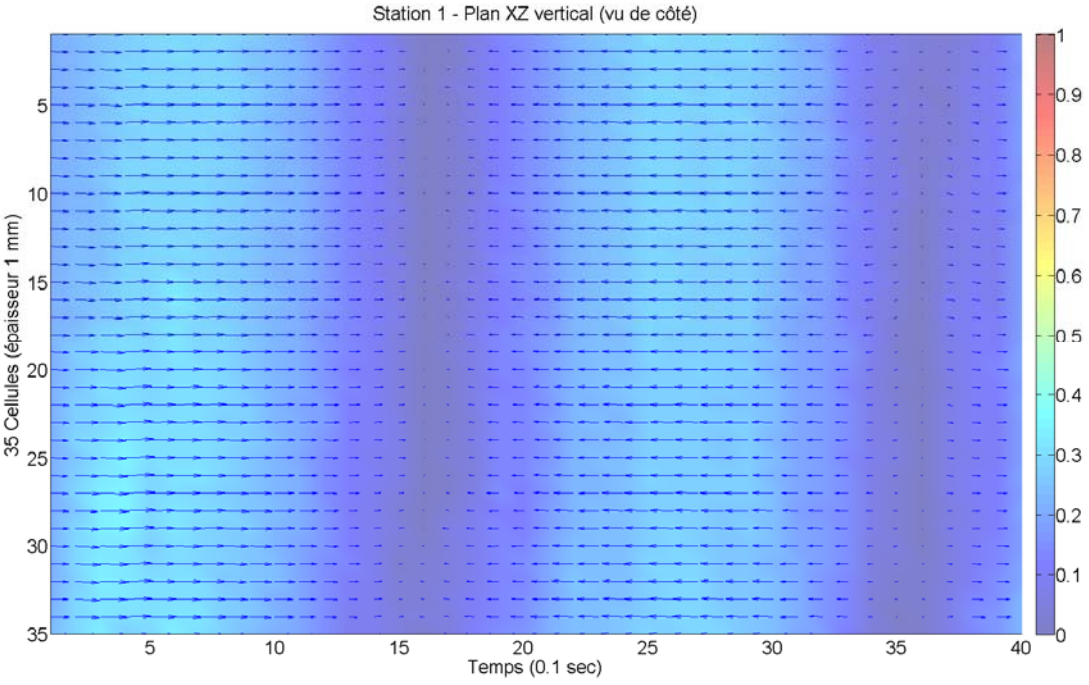


Figure 131. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan vertical (XZ) à la station 1 pour une profondeur (d) de 3 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 4 s (n = 1060 à 1099)

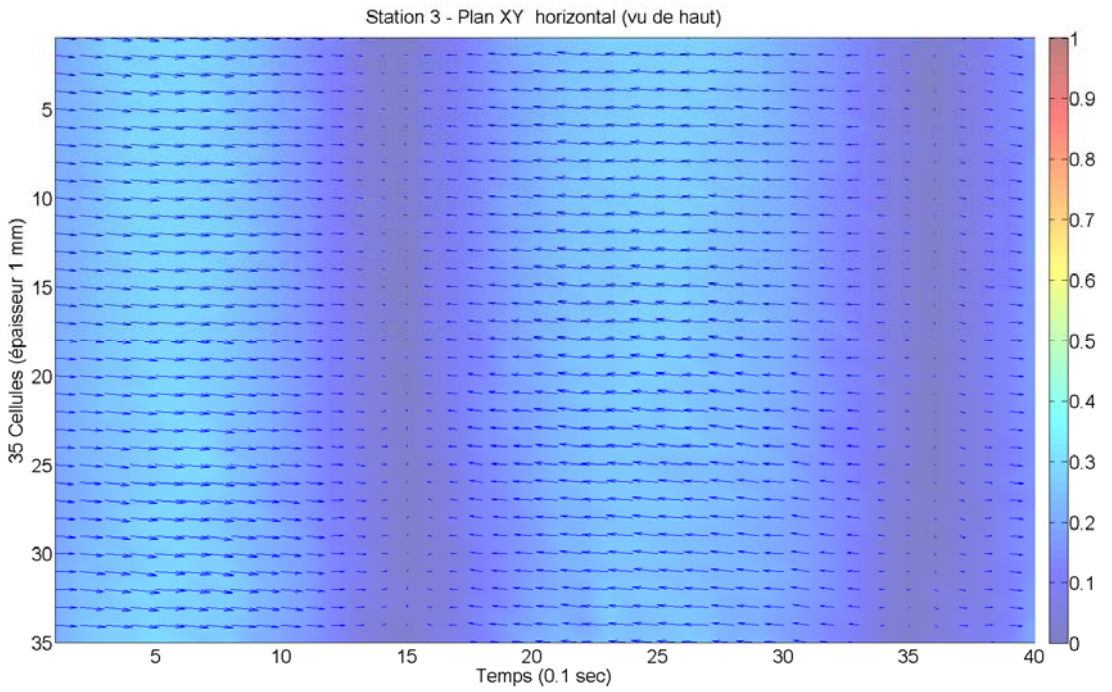


Figure 132. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XY) à la station 3 pour une profondeur (d) de 3 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 4 s (n = 1090 à 1129)

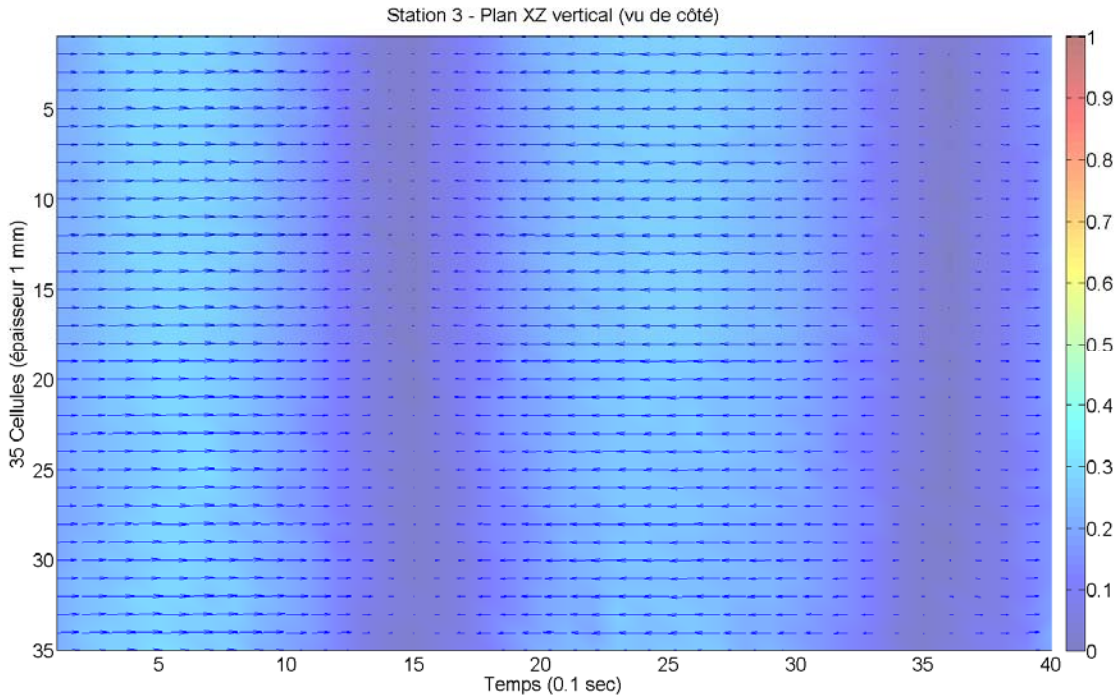


Figure 133. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan vertical (XZ) à la station 1 pour une profondeur (d) de 3 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 4 s (n = 1090 à 1129)

Période de 6 secondes:

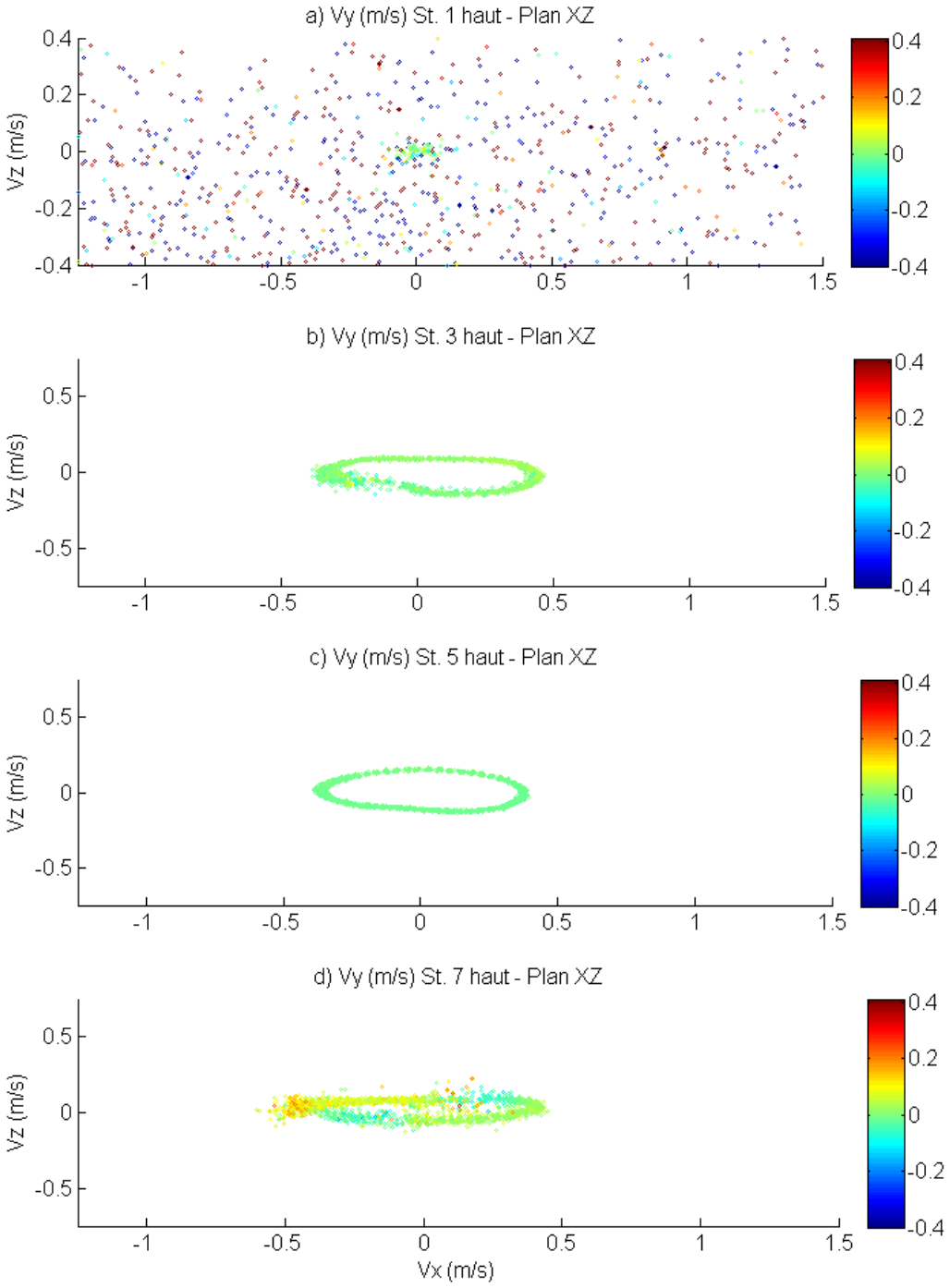


Figure 134. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino I situés en haut des quatre stations (a, b, c et d) pour une profondeur (d) de 3 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 6 s (N=2000)

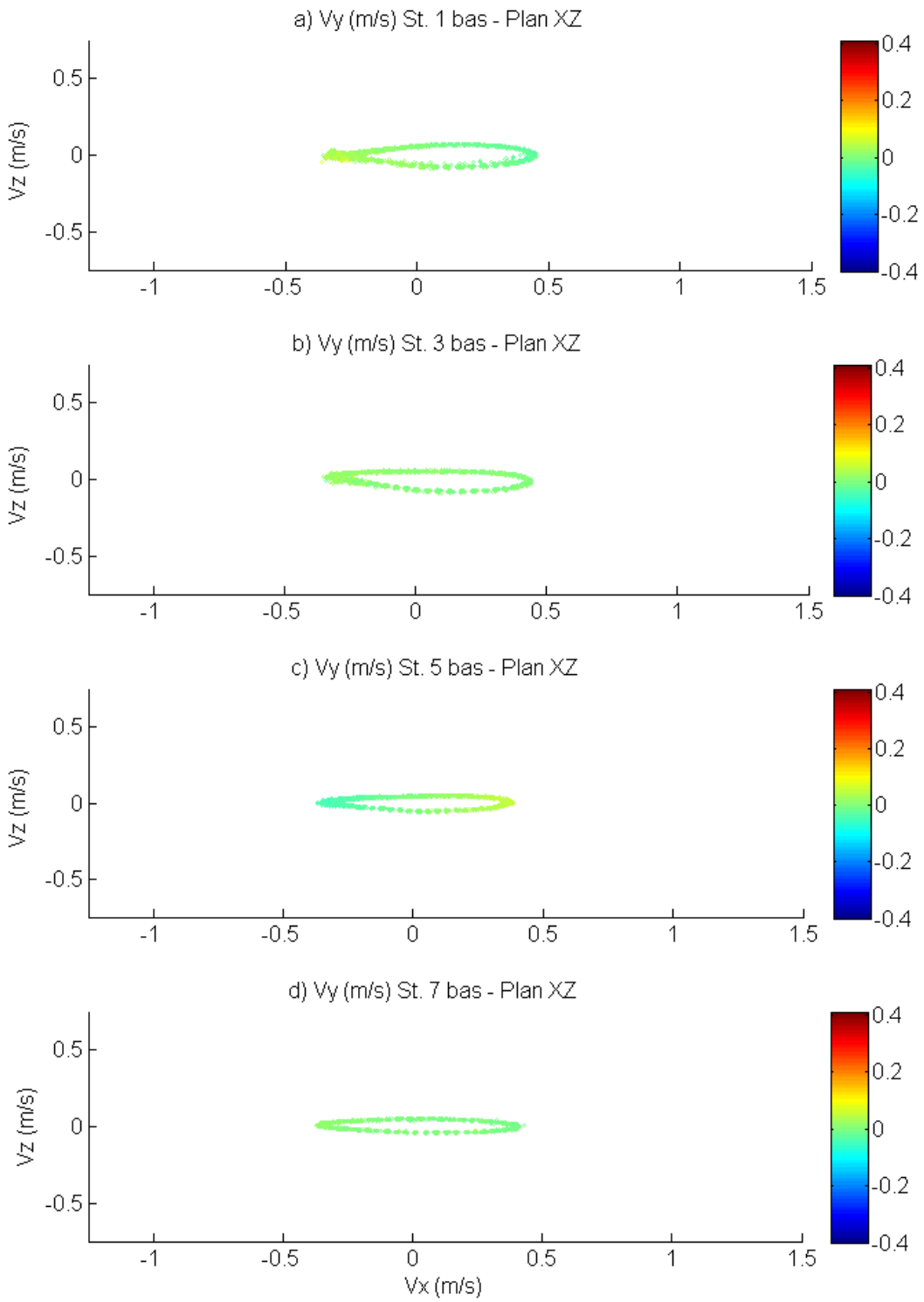


Figure 135. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino I situés au bas des quatre stations (a, b, c et d) pour une profondeur (d) de 3 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 6 s (N=2000)

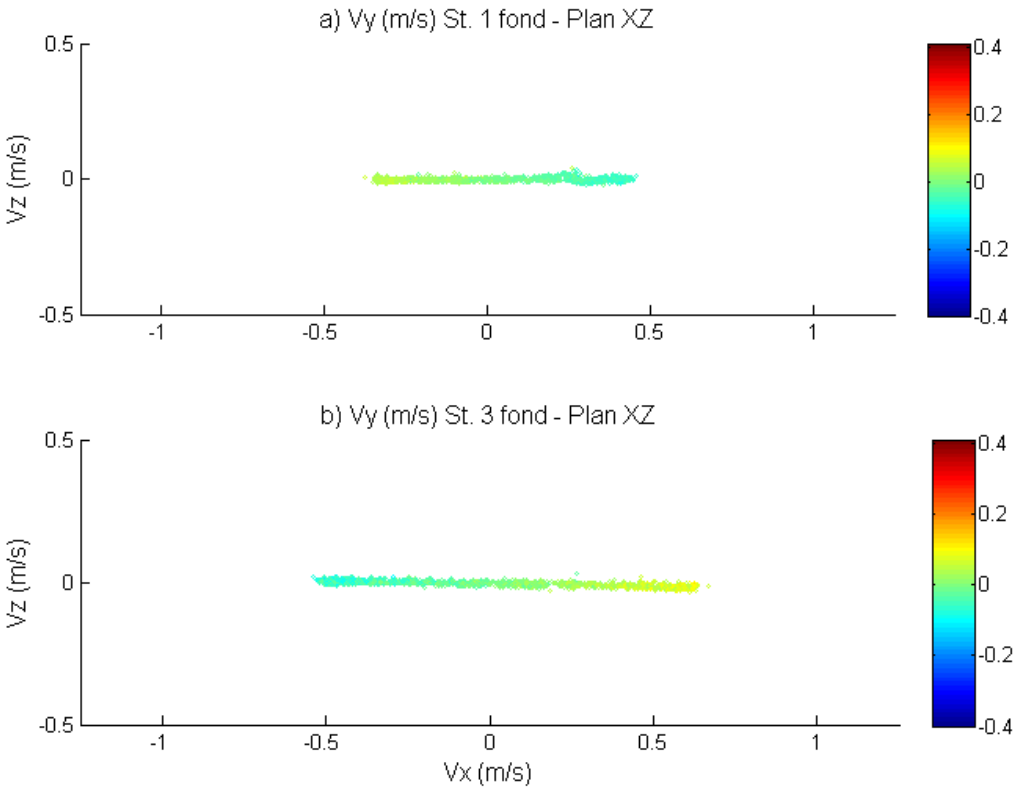


Figure 136. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino II situés au fond du canal aux stations a) 1 et b) 3 pour une profondeur (d) de 3 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 6 s (N=2000)

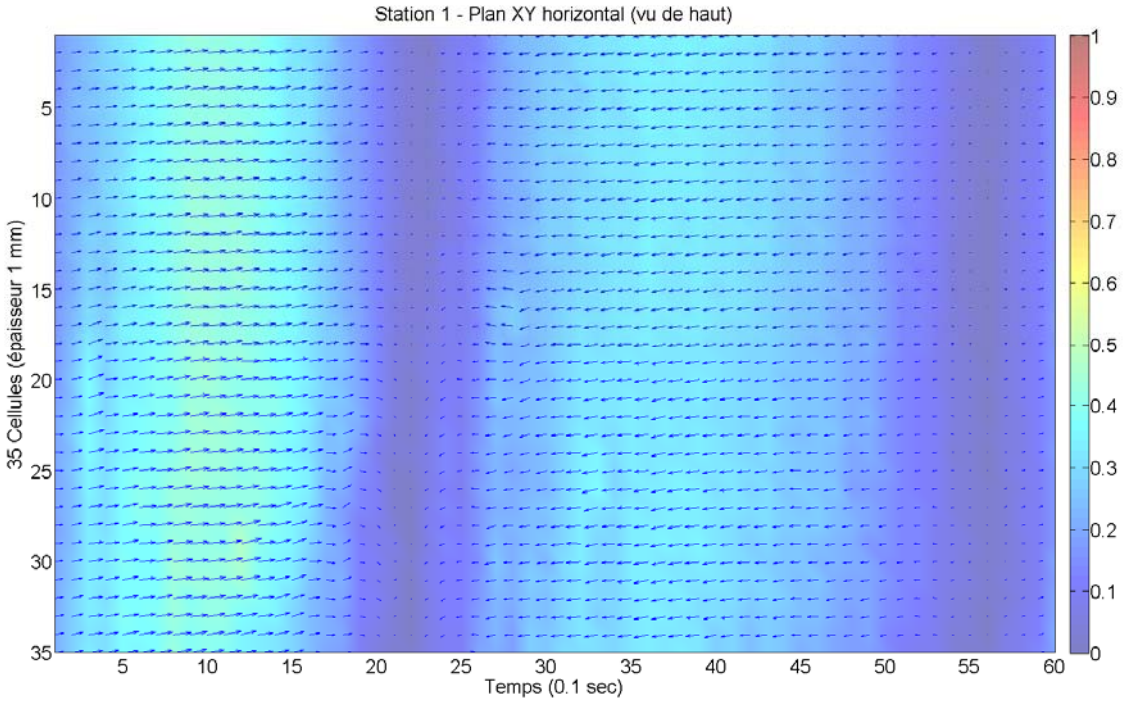


Figure 137. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XY) à la station 1 pour une profondeur (d) de 3 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 6 s (n = 1250 à 1309)

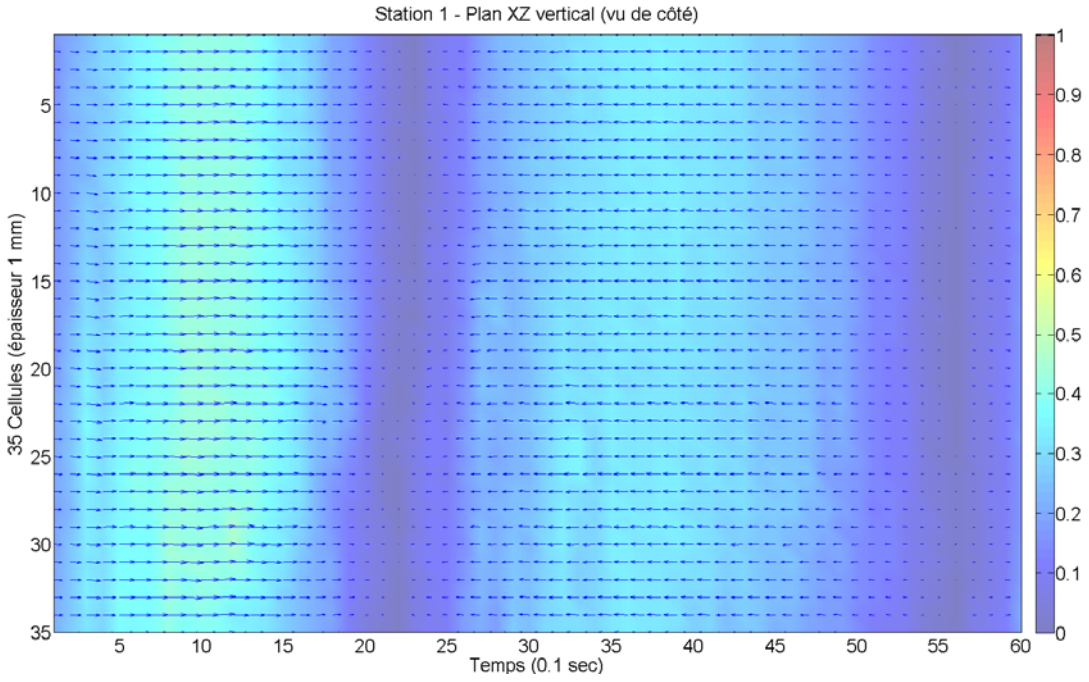


Figure 138. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan vertical (XZ) à la station 1 pour une profondeur (d) de 3 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 6 s (n = 1250 à 1309)

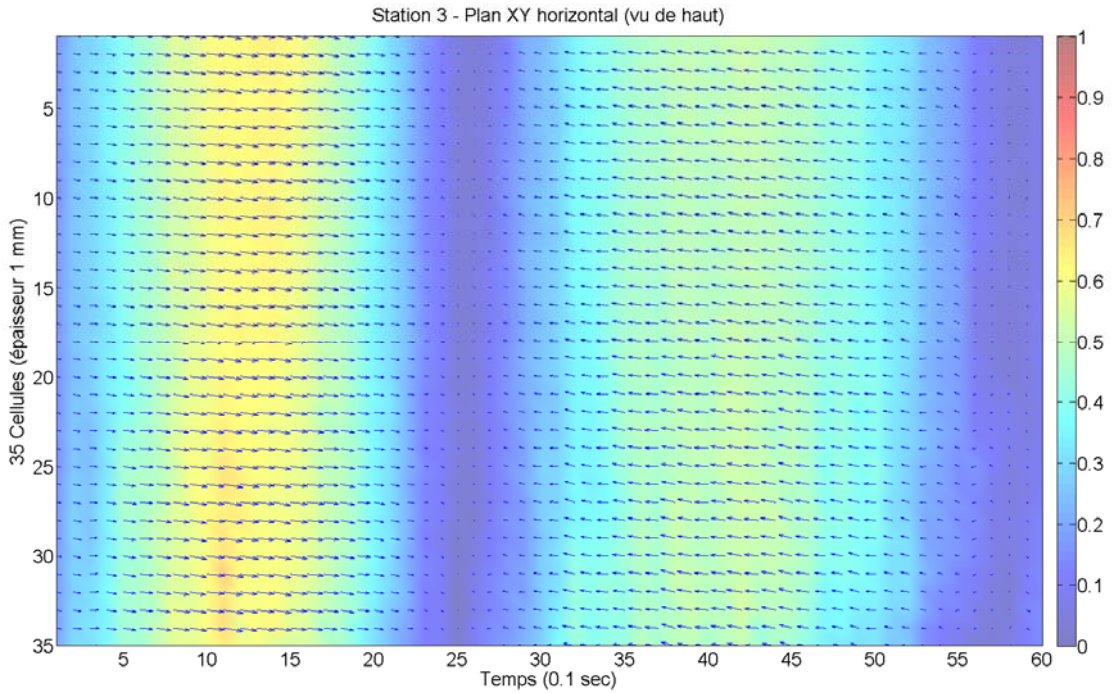


Figure 139. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XY) à la station 3 pour une profondeur (d) de 3 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 6 s (n = 1290 à 1349)

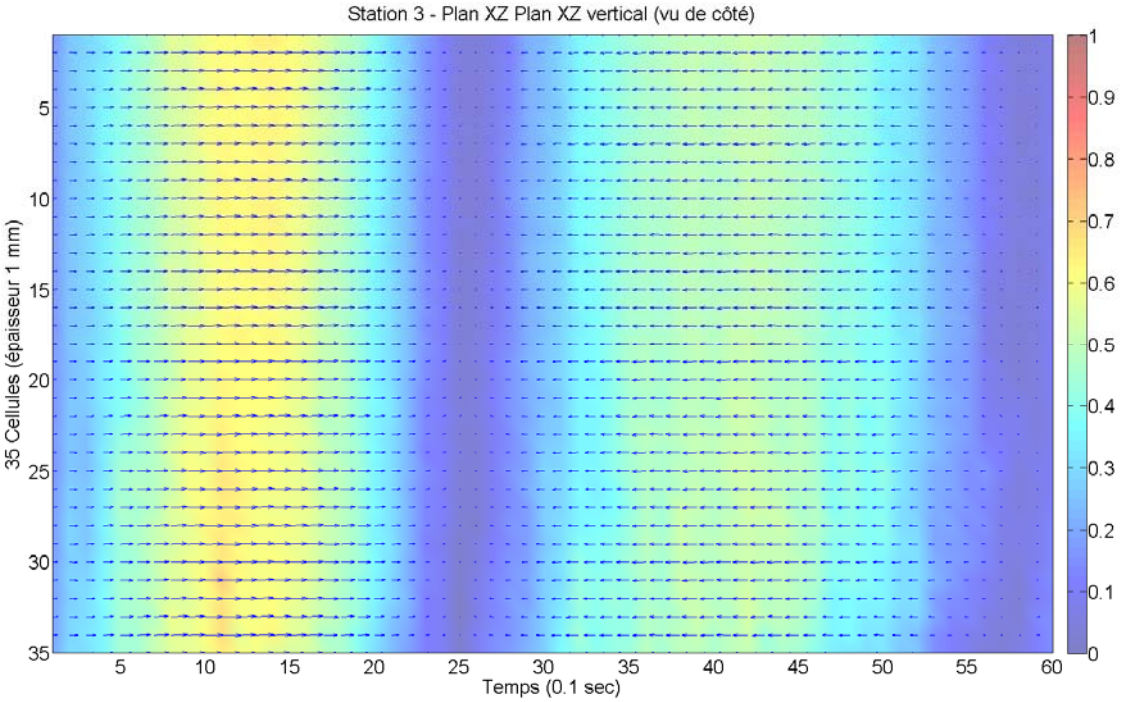


Figure 140. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan vertical (XZ) à la station 1 pour une profondeur (d) de 3 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 6 s (n = 1290 à 1349)

Période de 8 secondes:

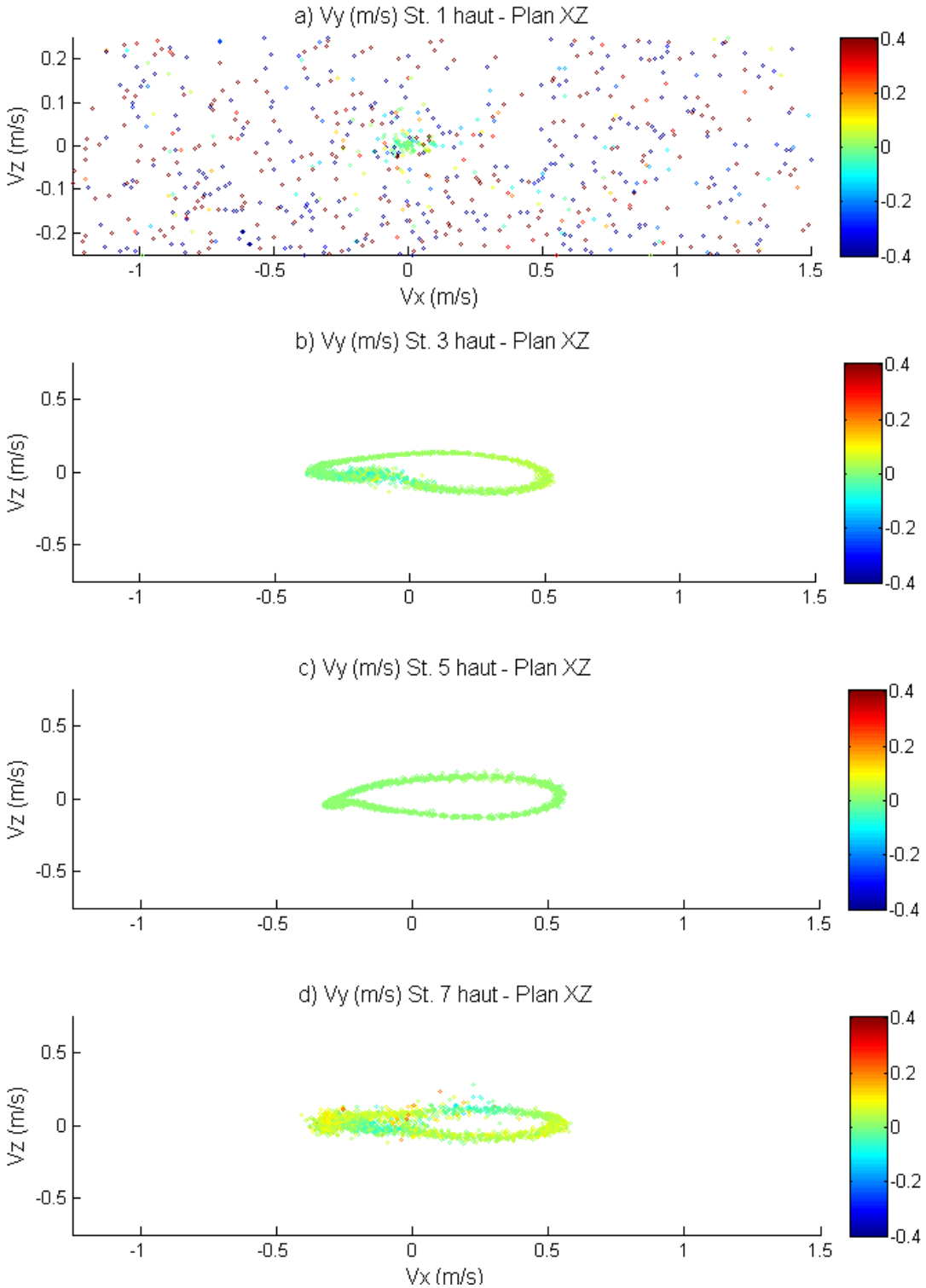


Figure 141. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino I situés en haut des quatre stations (a, b, c et d) pour une profondeur (d) de 3 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 8 s (N=2500)

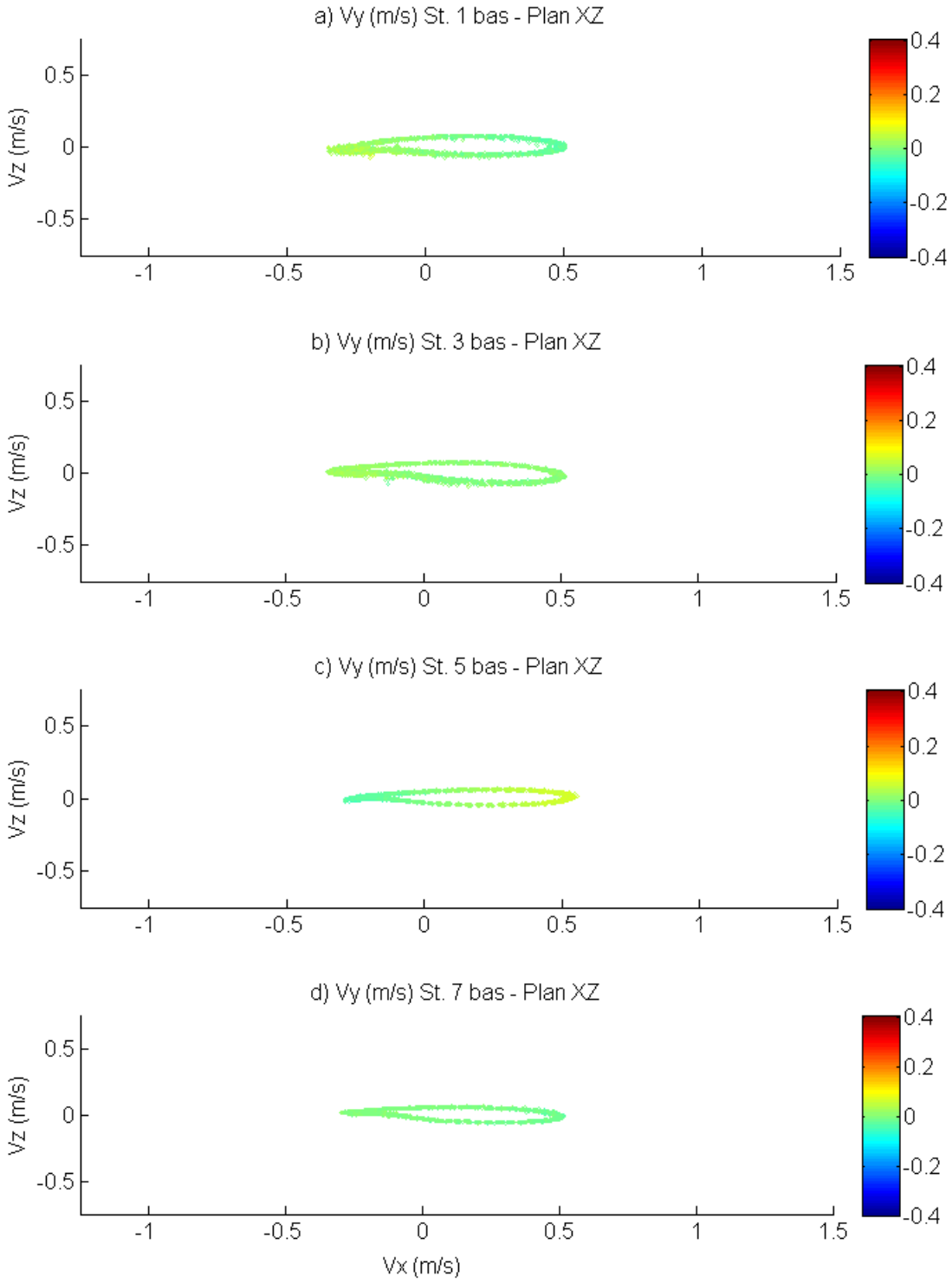


Figure 145. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino I situés au bas des quatre stations (a, b, c et d) pour une profondeur (d) de 3 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 8 s (N=2500)

Période de 10 secondes:

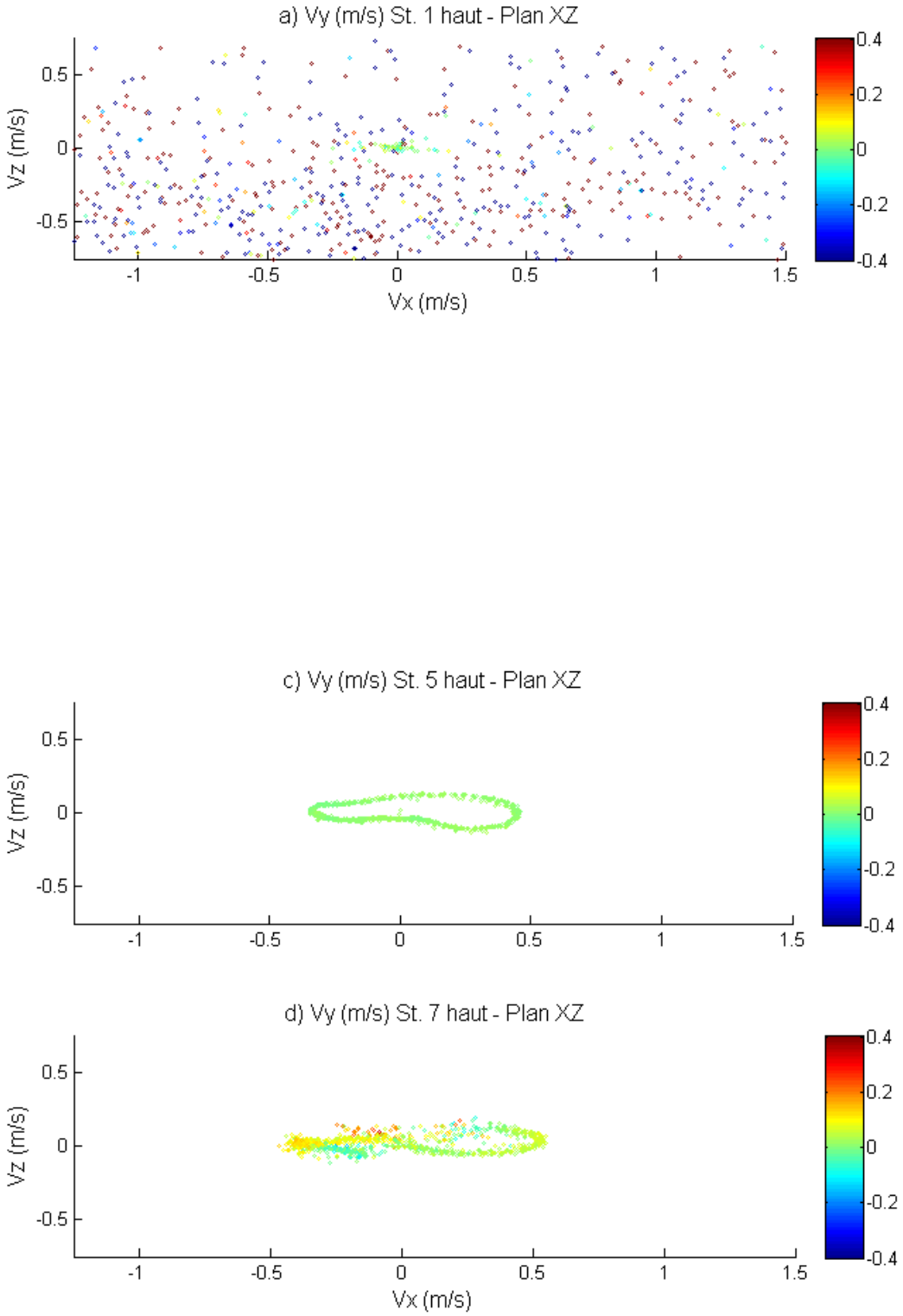


Figure 142. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino I situés en haut des quatre stations (a, b, c et d) pour une profondeur (d) de 3 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 10 s (N=1000)

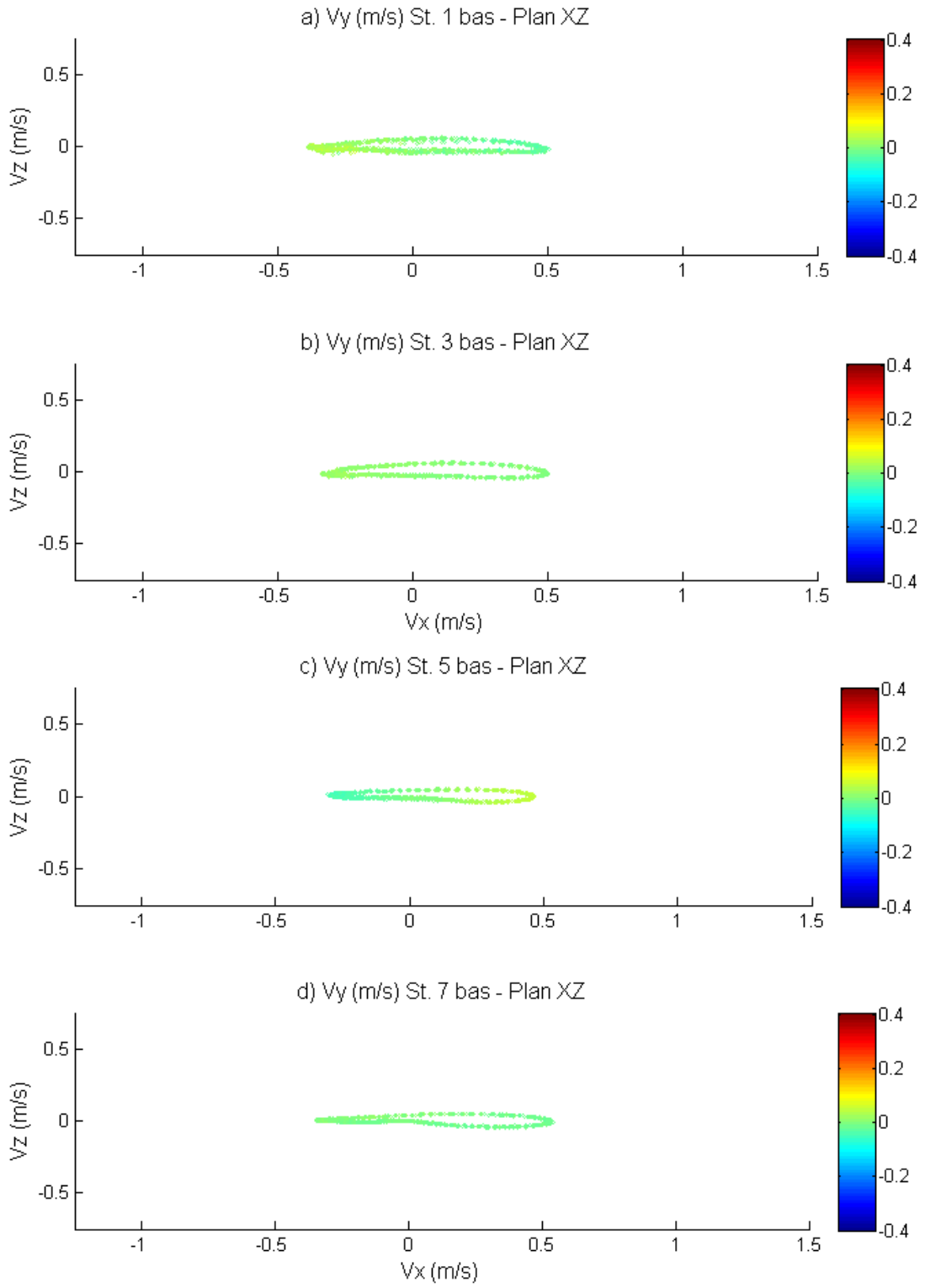


Figure 1437. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino I situés au bas des quatre stations (a, b, c et d) pour une profondeur (d) de 3 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 10 s (N=1000)

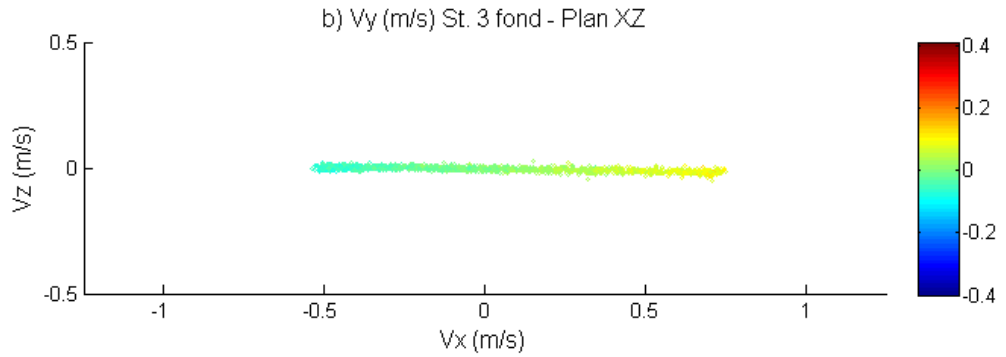


Figure 148. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino II situés au fond du canal aux stations a) 1 et b) 3 pour une profondeur (d) de 3 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 10 s (N=2000)

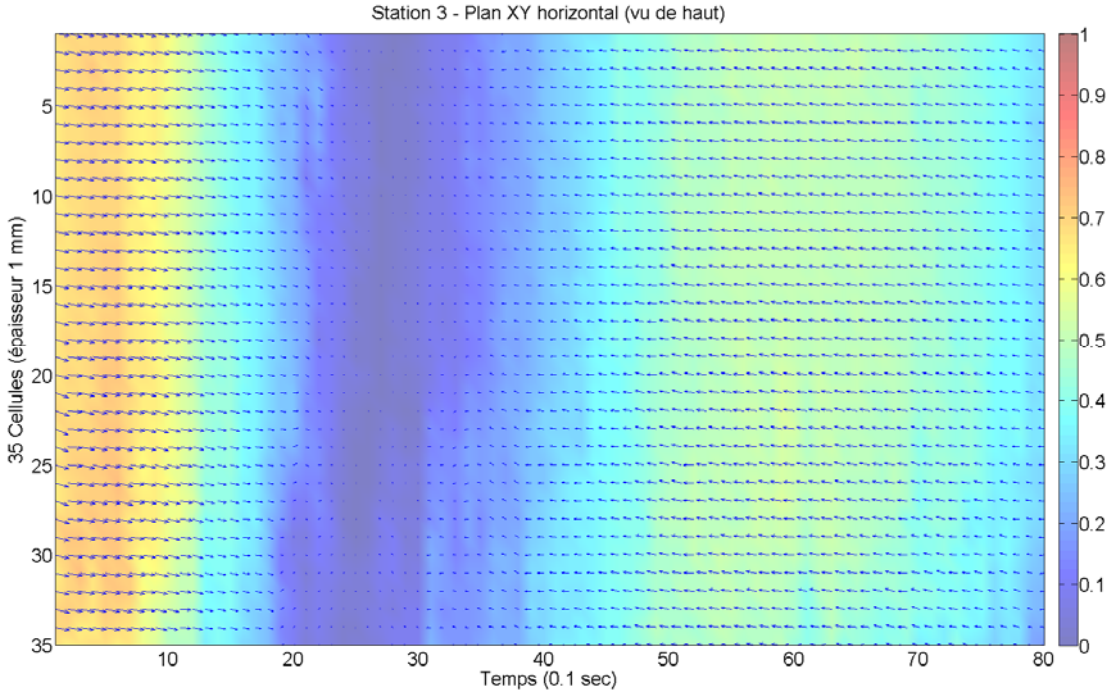


Figure 144. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XY) à la station 3 pour une profondeur (d) de 3 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 10 s (n = 1970 à 2049)

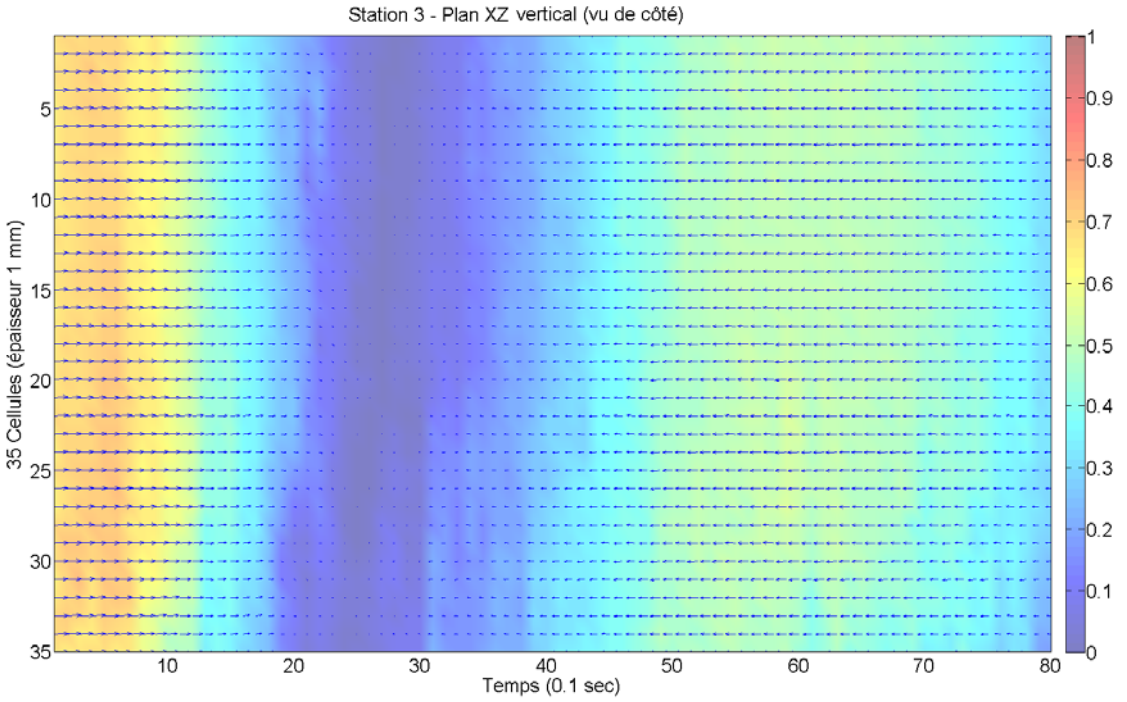


Figure 145. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan vertical (XZ) à la station 3 pour une profondeur (d) de 3 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 10 s (n = 1970 à 2049)

5.2.5 Profondeur d'eau (d) de 3 mètres et hauteur de vague (H) de 1 mètre

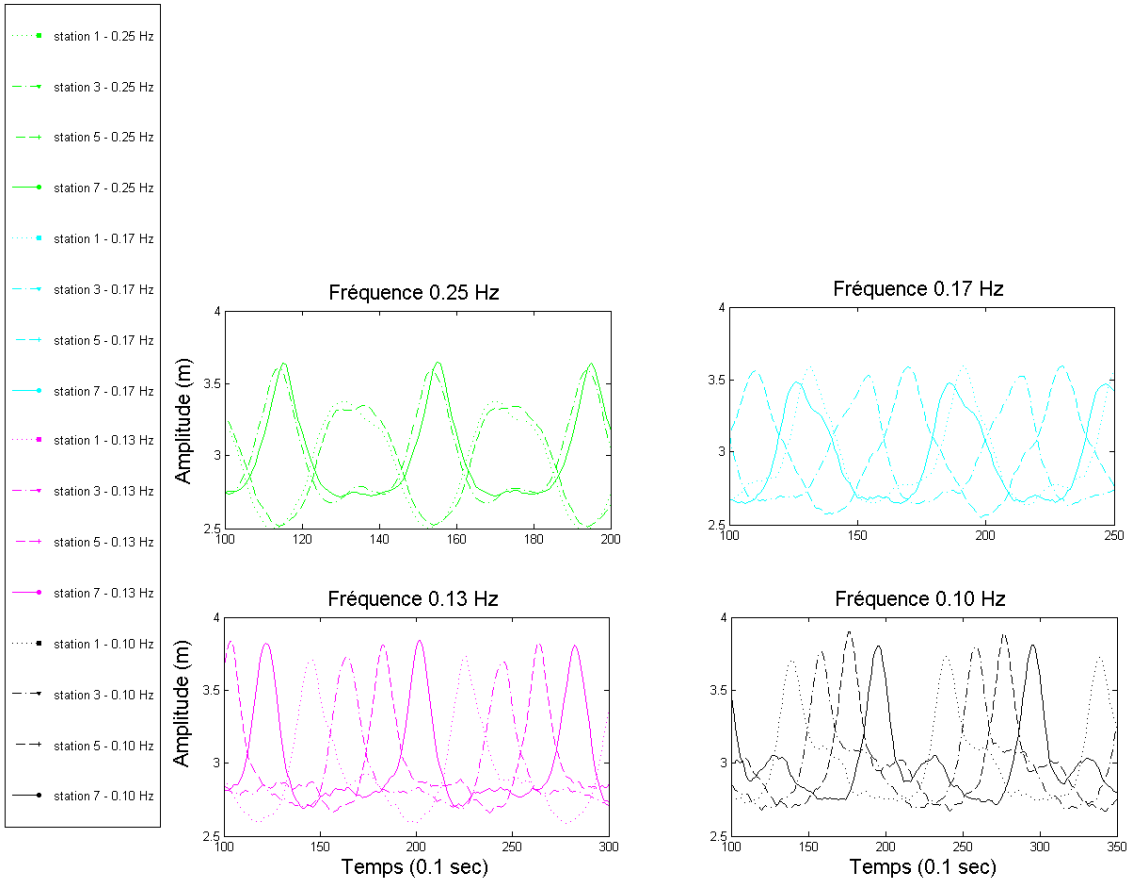


Figure 146. Niveaux d'eau enregistrés aux stations 1, 3, 5 et 7 pour une profondeur d'eau de 3 mètres, des vagues de 1 mètre de hauteur et des périodes de 4, 6, 8 et 10 secondes respectivement.

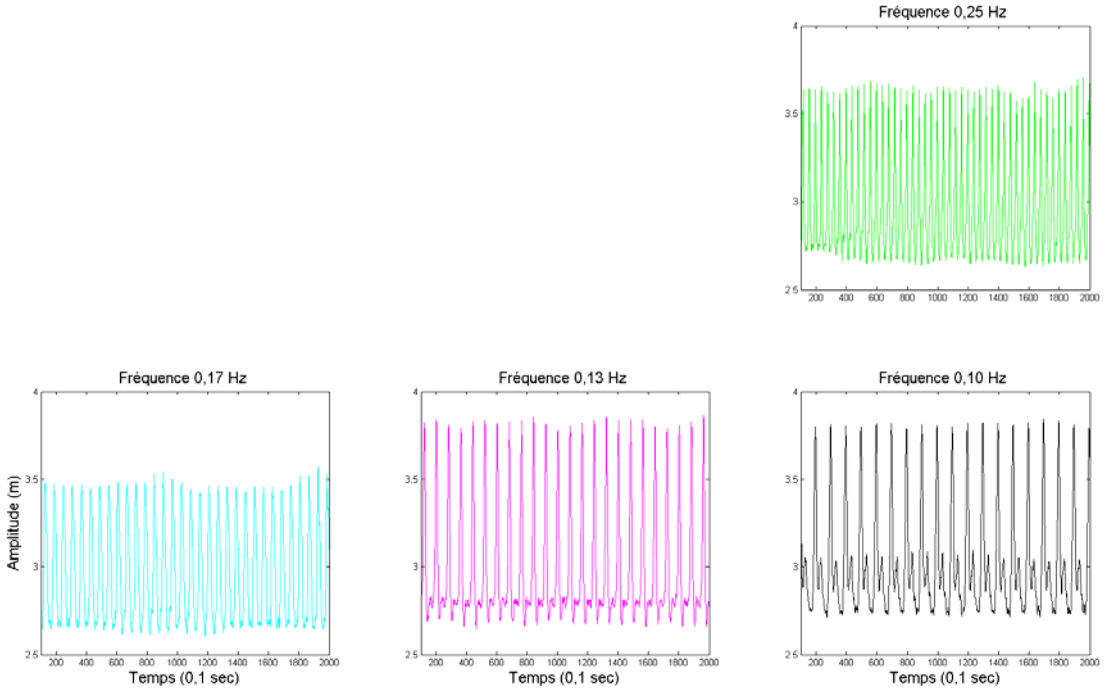


Figure 147. Niveaux d'eau enregistrés à la station 7 pour une profondeur d'eau de 3 mètres, des vagues de 1 mètre de hauteur et des périodes de 4, 6, 8 et 10 secondes respectivement.

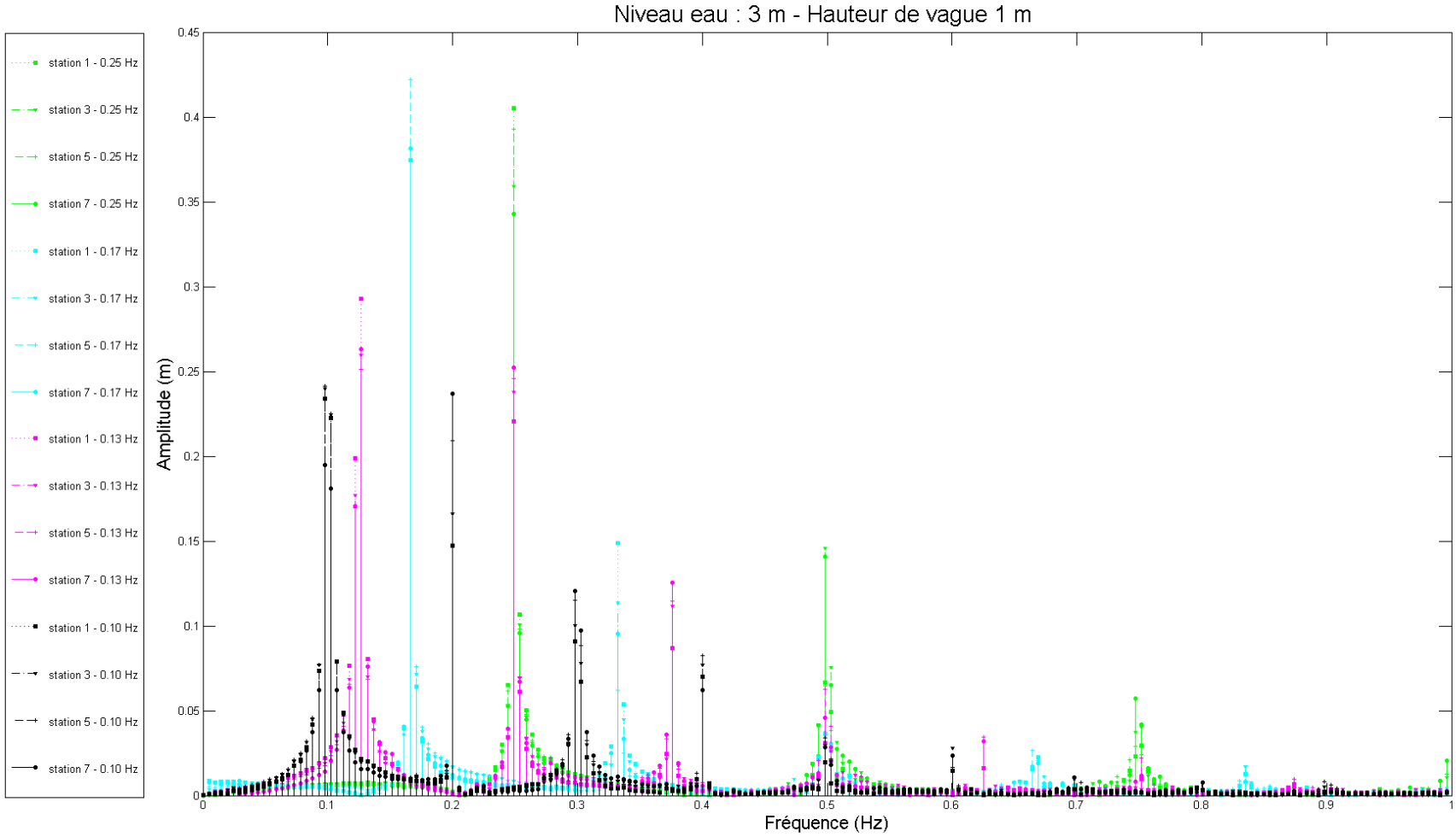


Figure 148. Transformée de Fourier : Résultats de l'analyse spectrale pour une profondeur d'eau de 3 m et une hauteur de vague de 1 m en fonction des différentes périodes de 4 s (0,25 Hz), 6 s (0,17 Hz), 8 s (0,13 Hz) et 10 s (0,10Hz) pour les quatre stations d'échantillonnage du canal (série 12 secondes manquante)

Période de 4 secondes:

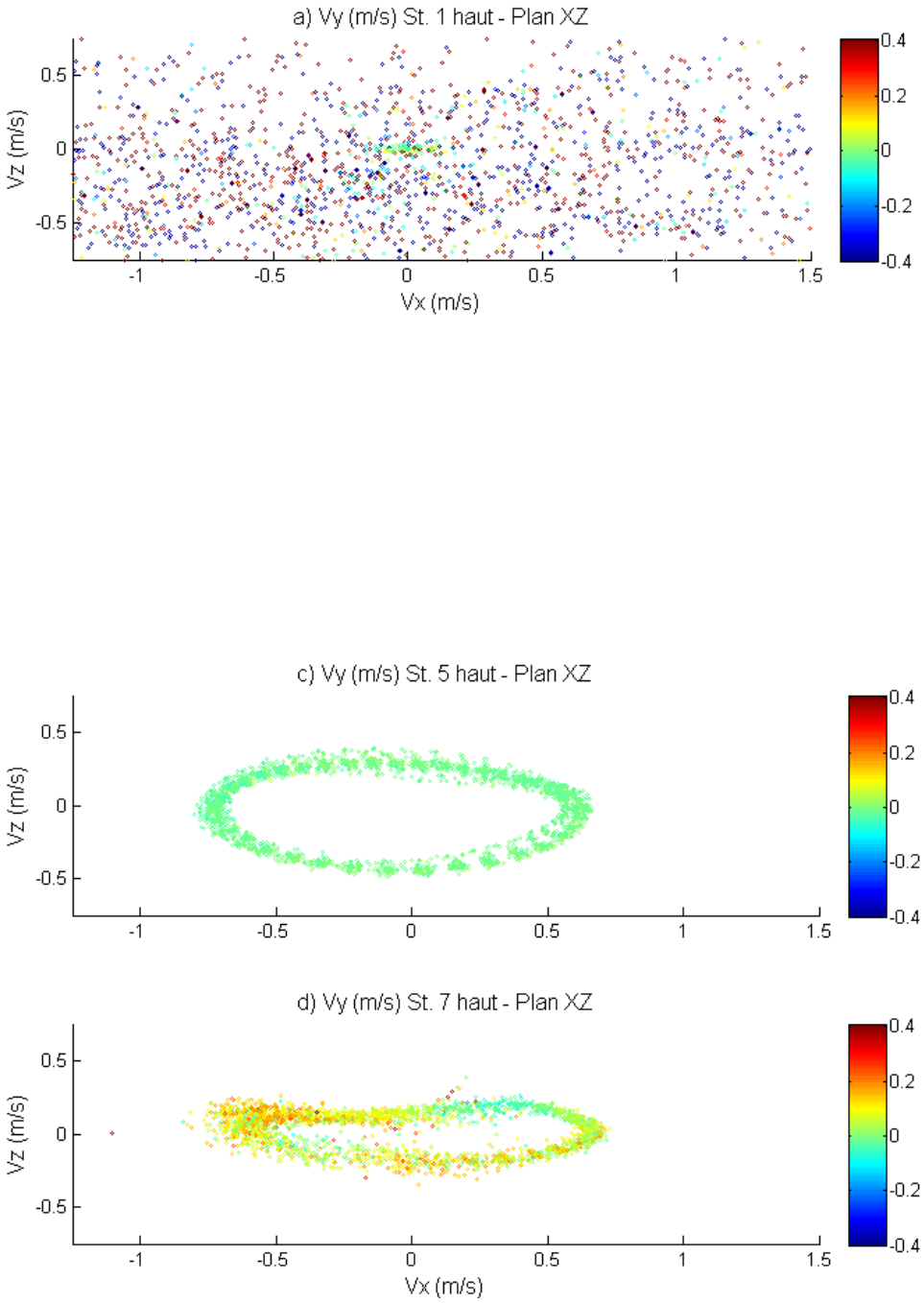


Figure 149. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino I situés en haut des quatre stations (a, b, c et d) pour une profondeur (d) de 3 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 4 s (N=2500)

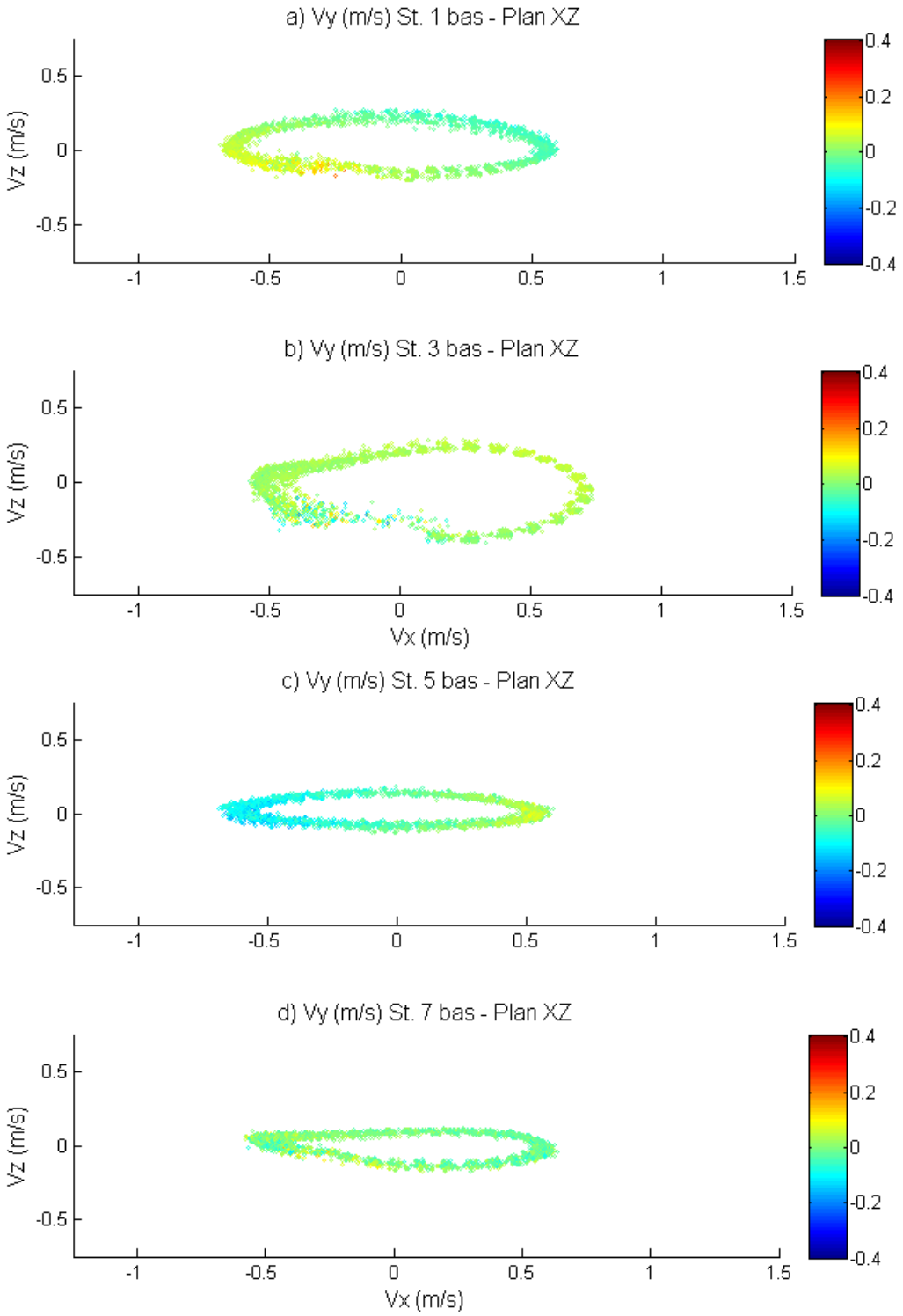


Figure 150. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino I situés au bas des quatre stations (a, b, c et d) pour une profondeur (d) de 3 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 4 s (N=2500)

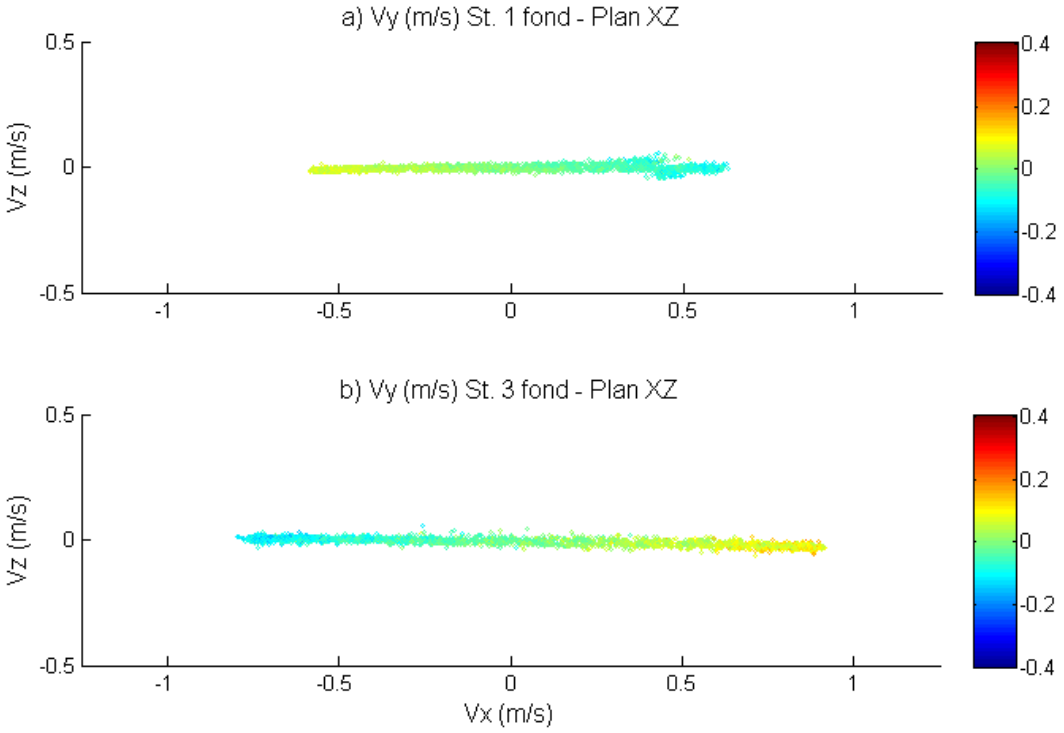


Figure 151. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino II situés au fond du canal aux stations a) 1 et b) 3 pour une profondeur (d) de 3 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 4s (N=3000)

Note : Les séries de vitesse de Vectrino II n'avaient pas de problème de stabilité

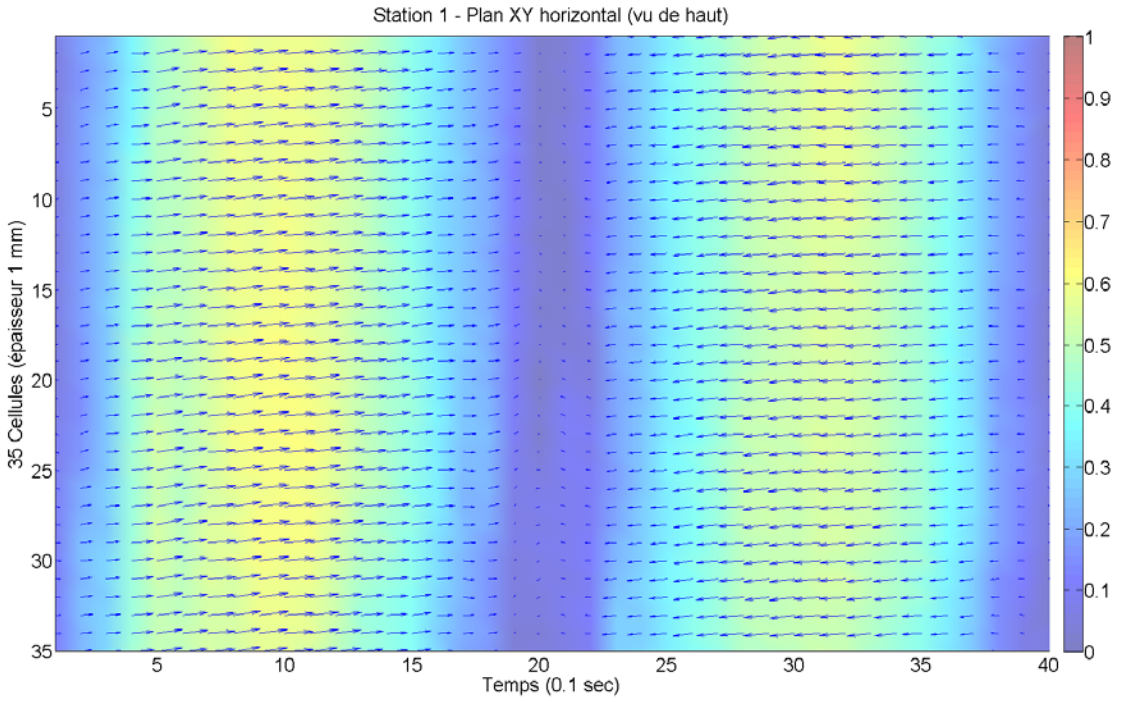


Figure 152. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XY) à la station 1 pour une profondeur (d) de 3 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 4 s (n = 2145 à 2184)

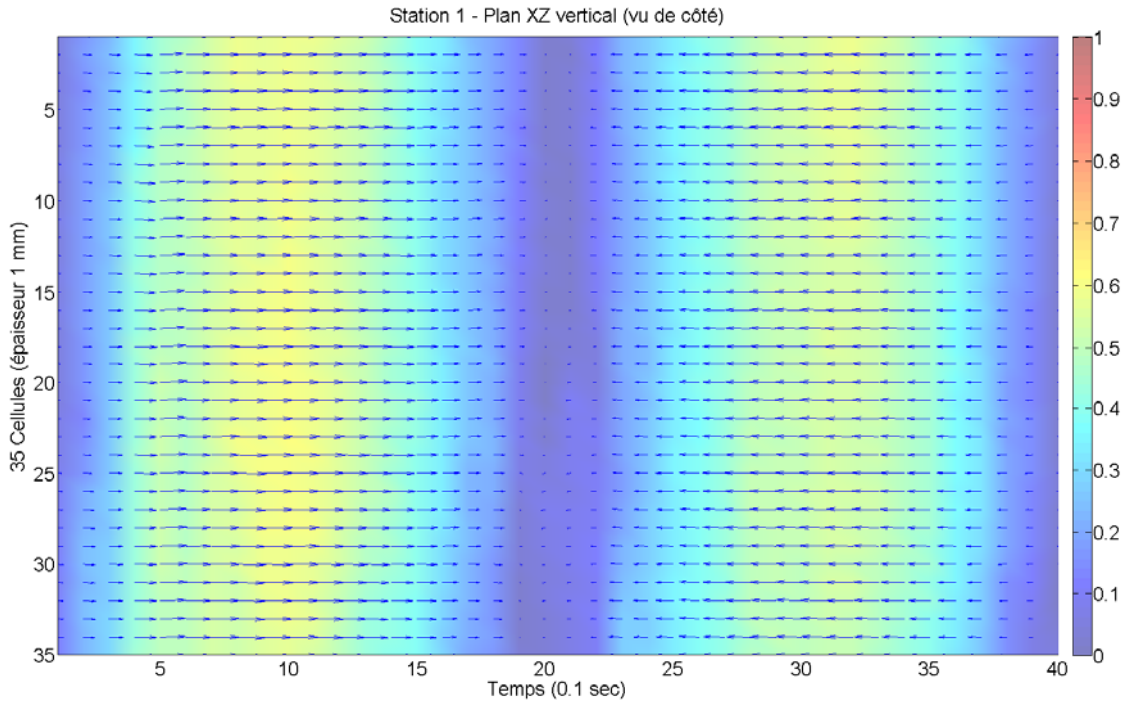


Figure 153. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan vertical (XZ) à la station 1 pour une profondeur (d) de 3 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 4 s (n = 2145 à 2184)

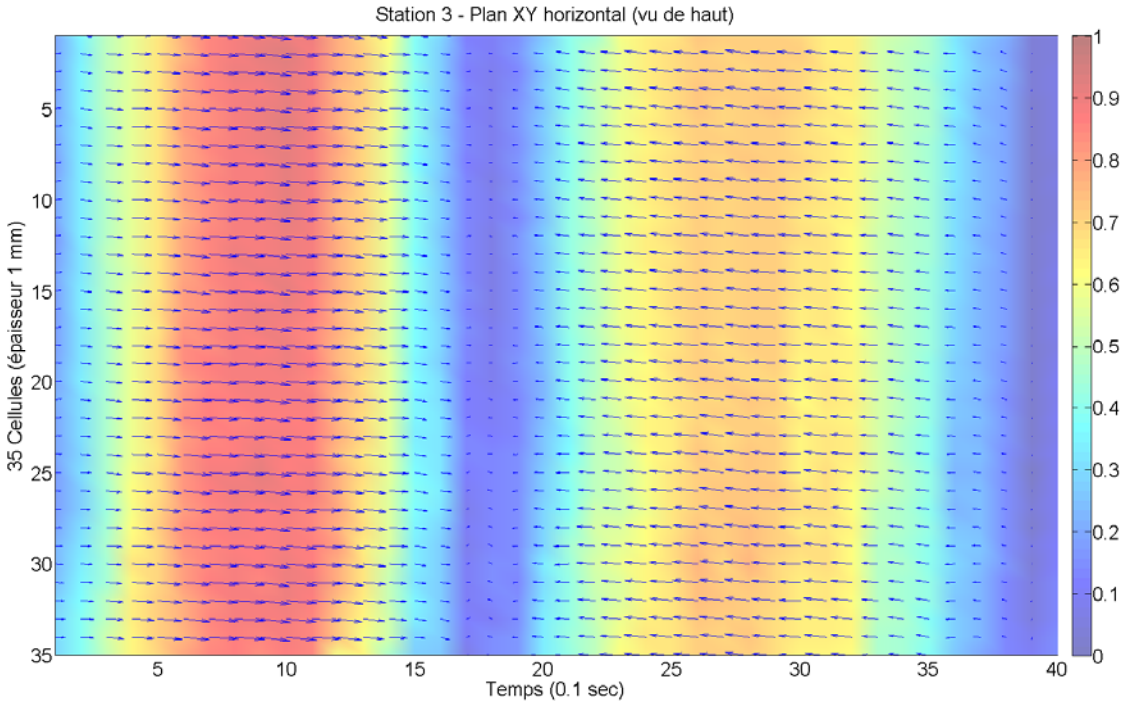


Figure 154. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XY) à la station 3 pour une profondeur (d) de 3 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 4 s (n = 2190 à 2229)

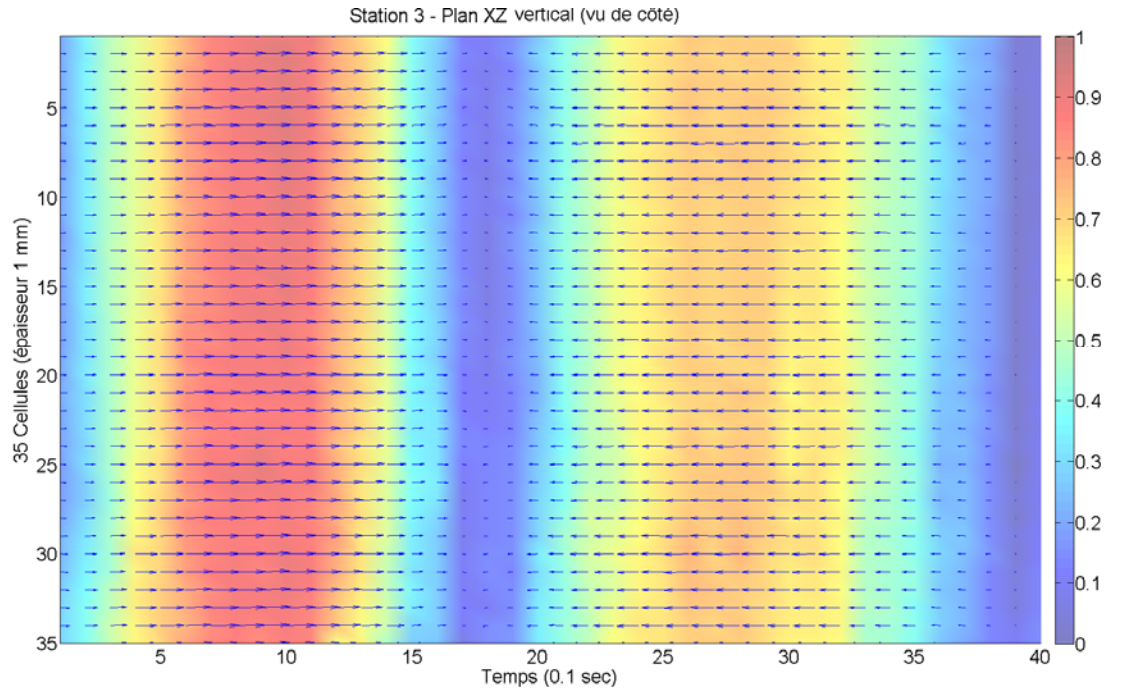


Figure 155. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XZ) à la station 3 pour une profondeur (d) de 3 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 4 s (n = 2190 à 2229)

Période de 6 secondes:

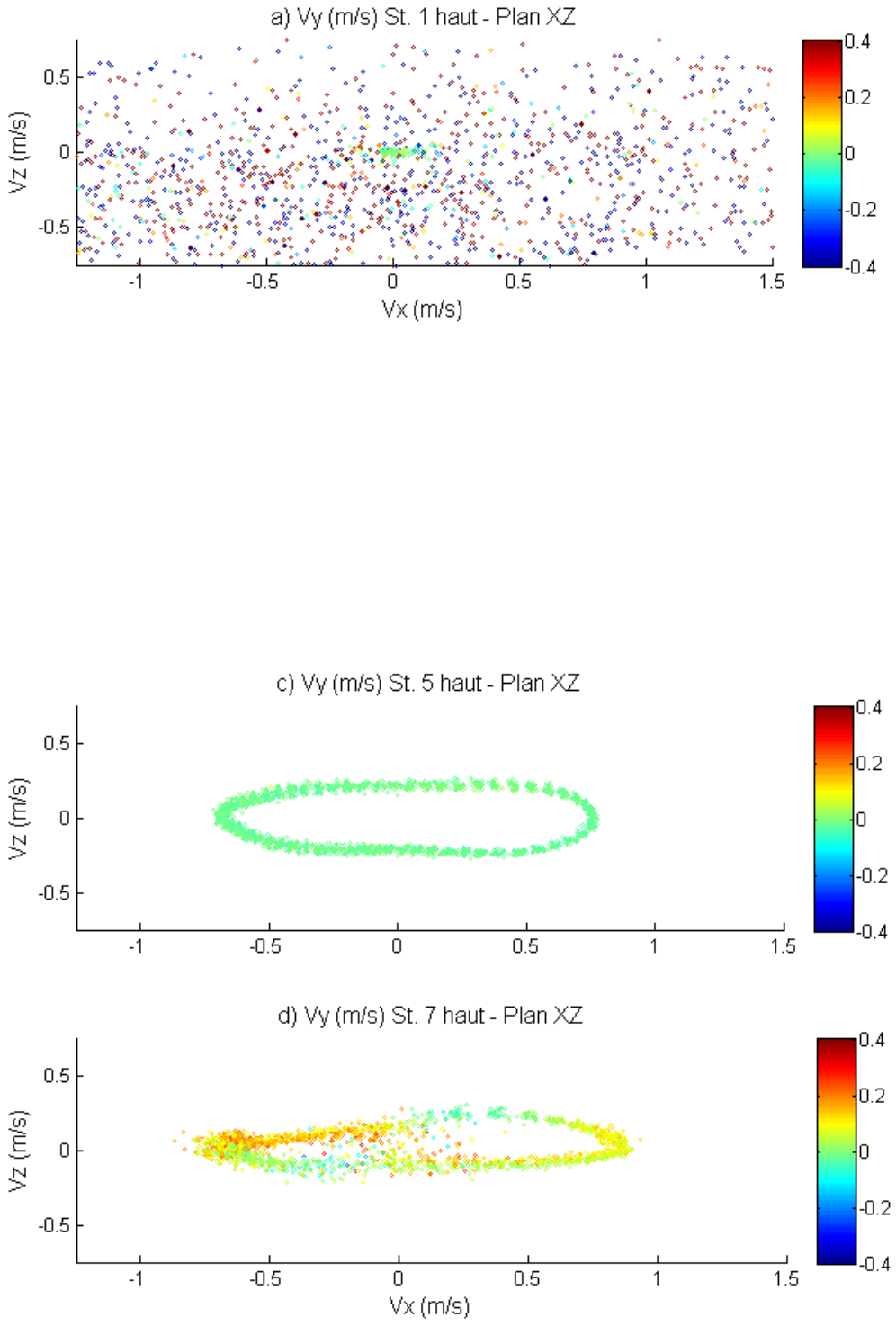


Figure 156. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino I situés en haut des quatre stations (a, b, c et d) pour une profondeur (d) de 3 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 6 s (N=2000)

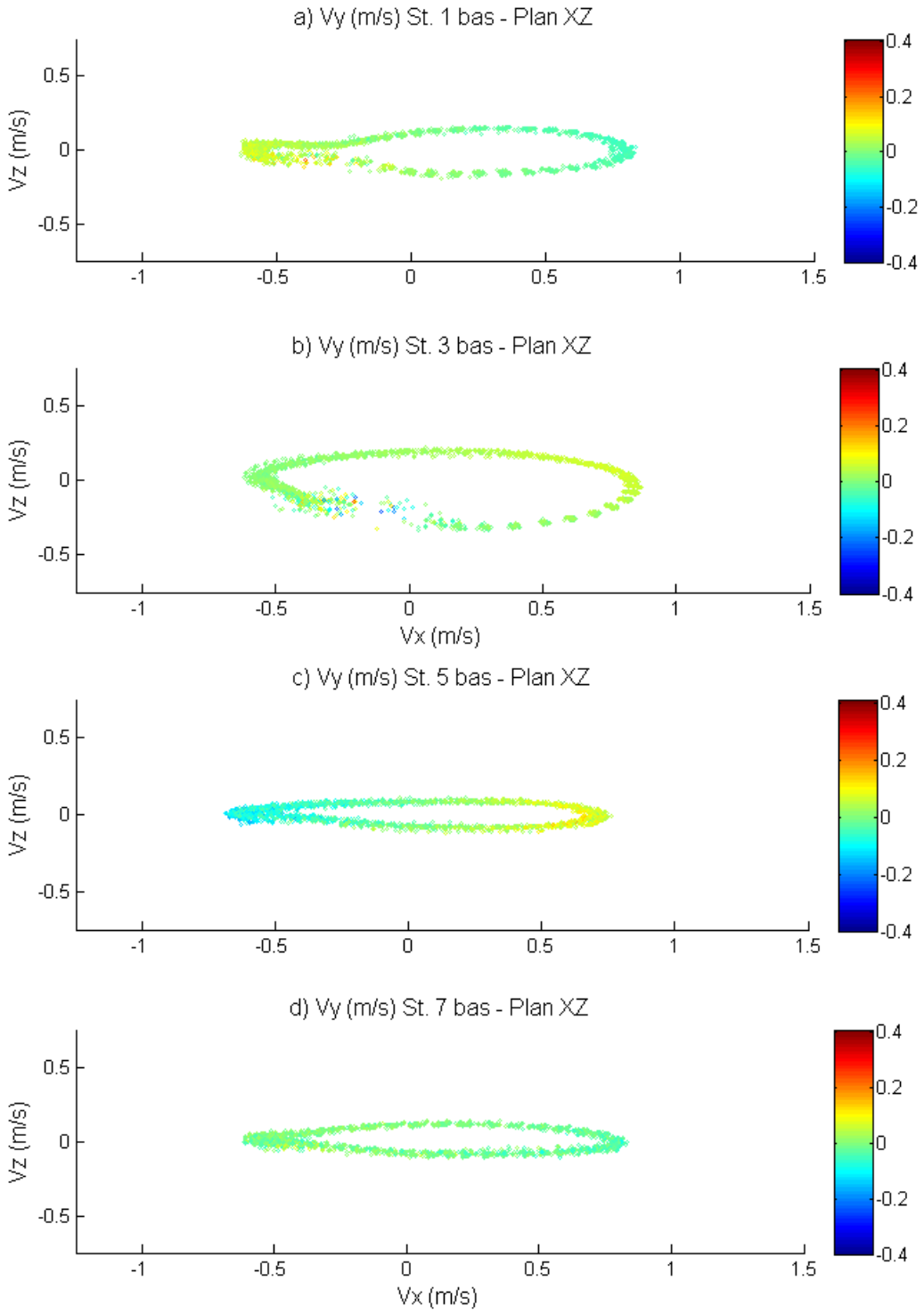


Figure 157. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino I situés au bas des quatre stations (a, b, c et d) pour une profondeur (d) de 3 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 6 s (N=2000)

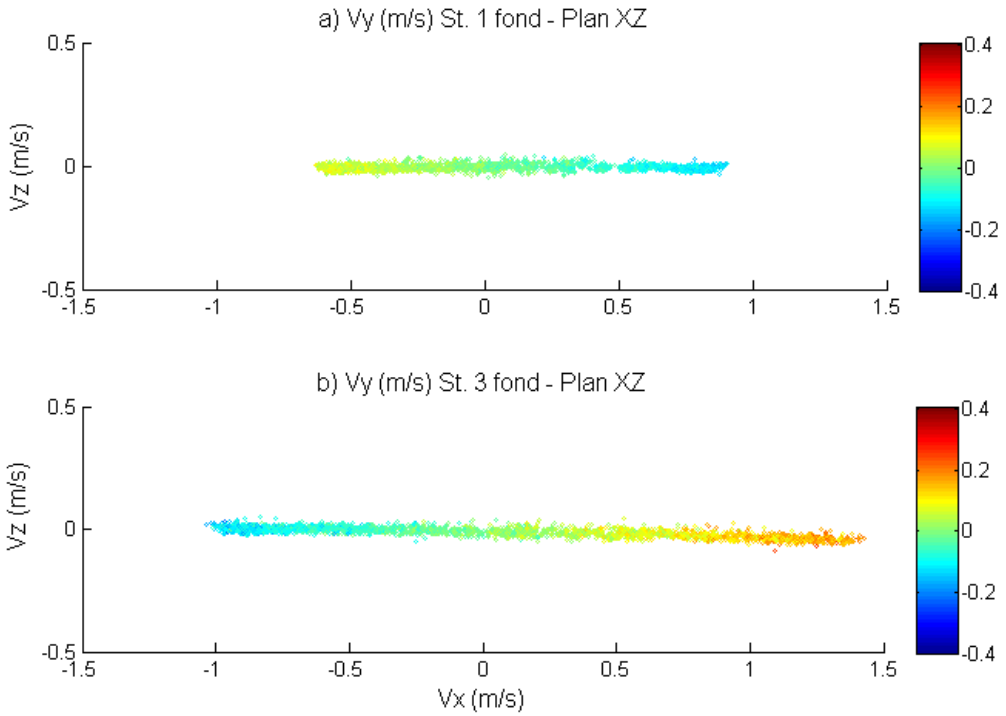


Figure 158. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino II situés au fond du canal aux stations a) 1 et b) 3 pour une profondeur (d) de 3 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 6 s (N=2000)

Note :

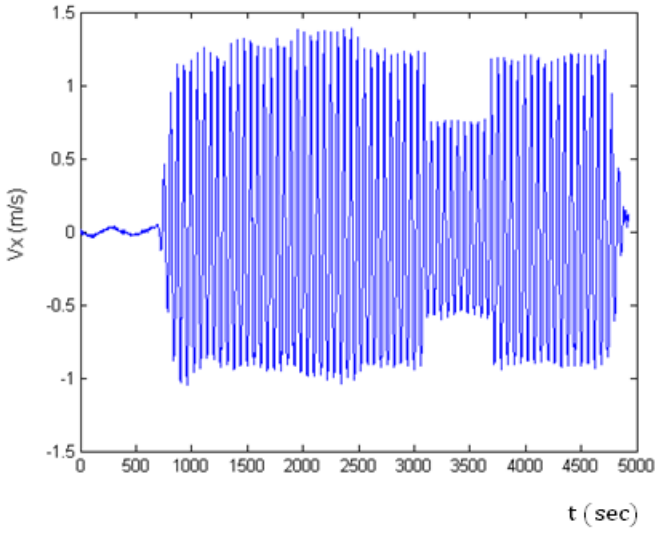


Figure 159. Vitesse en X de l'appareil Vectrino II de au fond du canal de la station 3 pour une profondeur (d) de 3 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 6 s

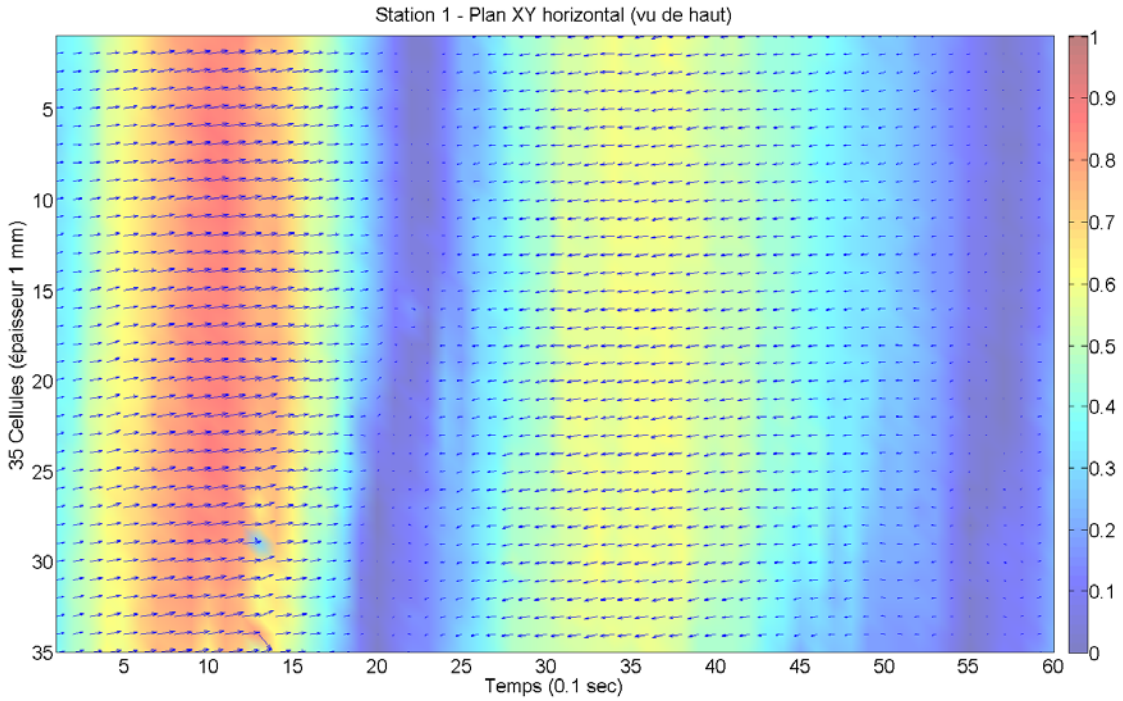


Figure 160. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XY) à la station 1 pour une profondeur (d) de 3 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 6 s (n = 2170 à 2229)

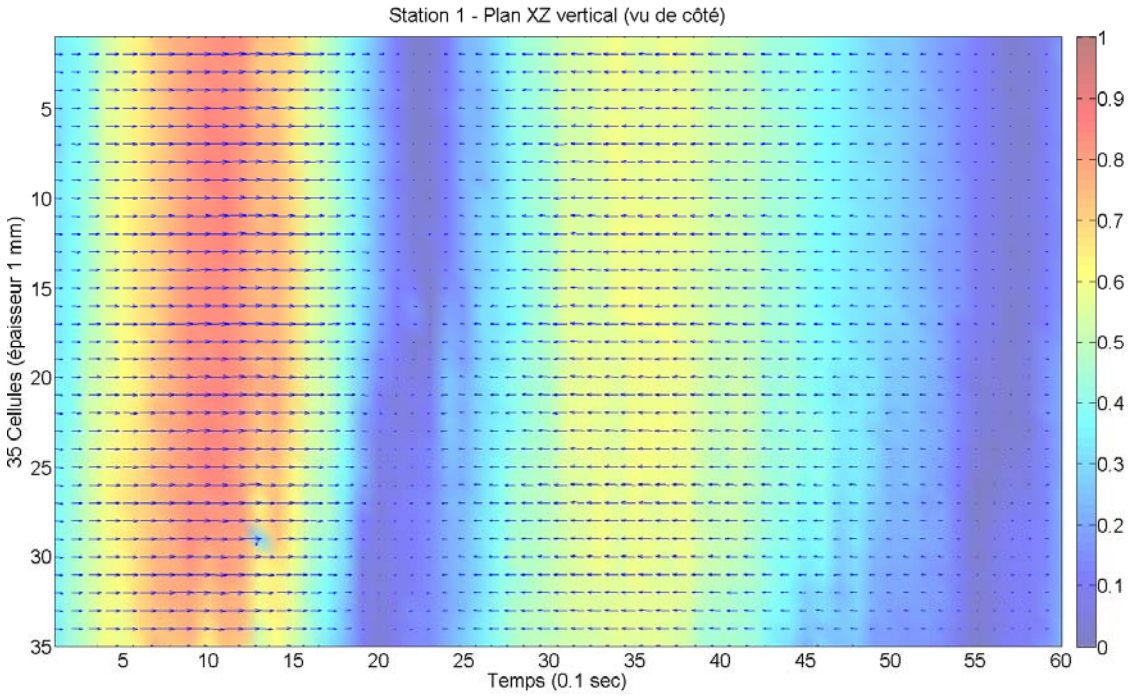


Figure 161. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XZ) à la station 1 pour une profondeur (d) de 3 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 6 s (n = 2170 à 2229)

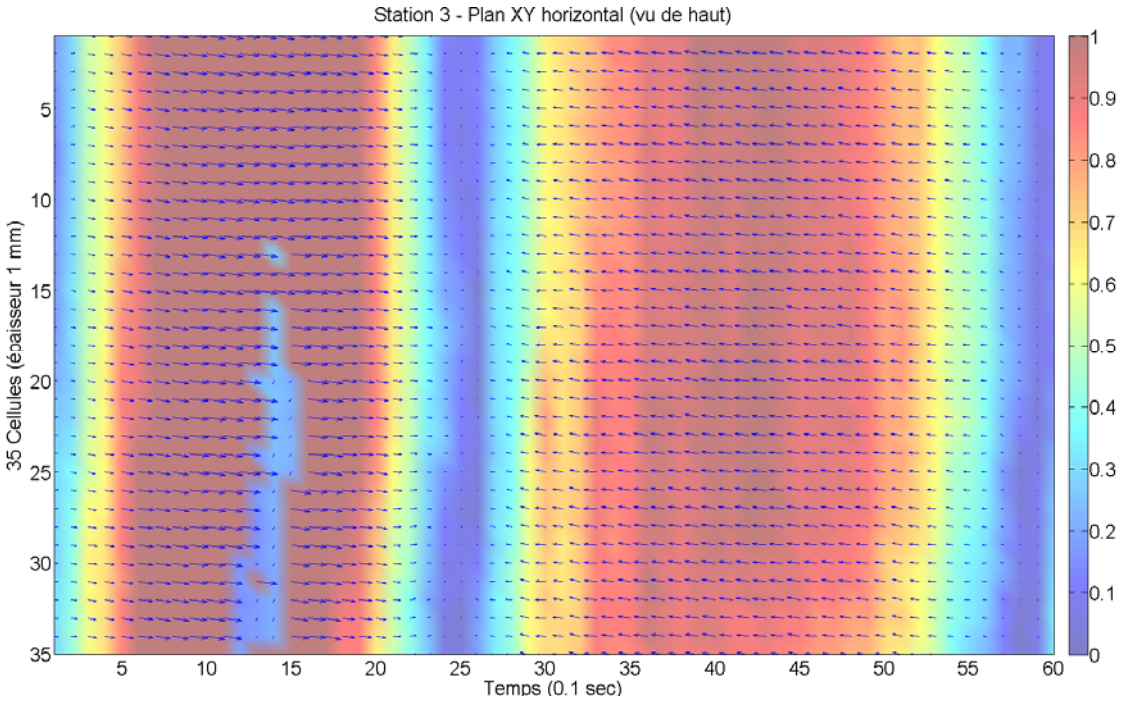


Figure 162. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XY) à la station 3 pour une profondeur (d) de 3 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 6s (n = 2180 à 2239)

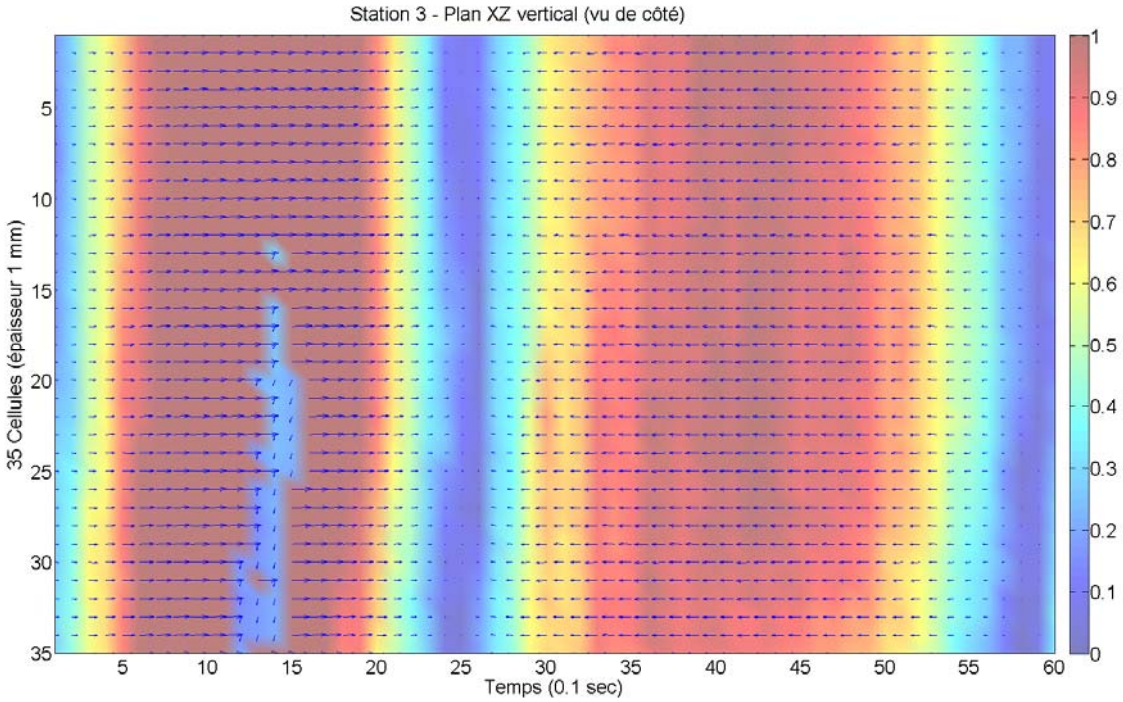


Figure 163. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XZ) à la station 3 pour une profondeur (d) de 3 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 6 s (n = 2180 à 2239)

Période de 8 secondes:

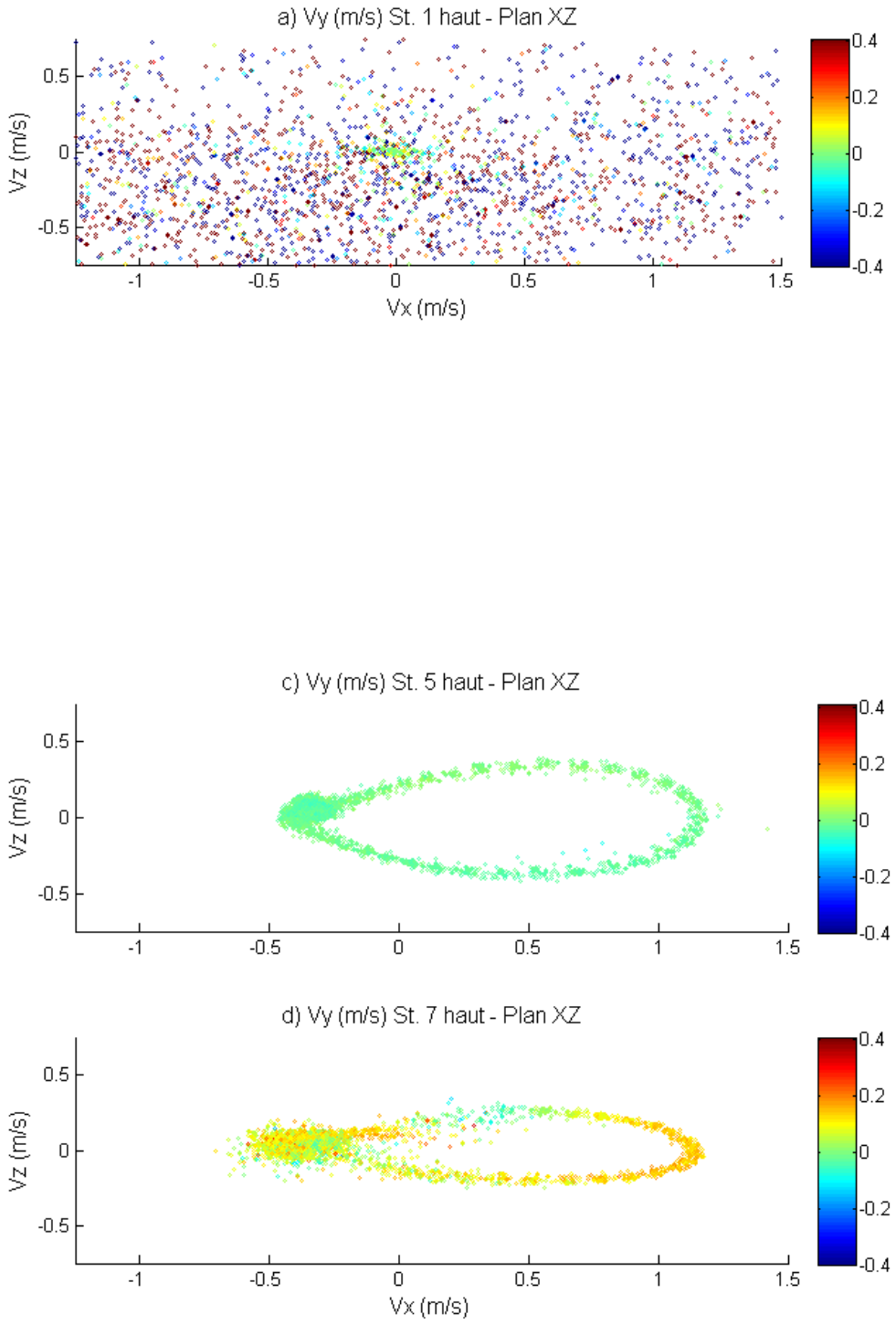


Figure 164. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino I situés en haut des quatre stations (a, b, c et d) pour une profondeur (d) de 3 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 8 s (N=1000)

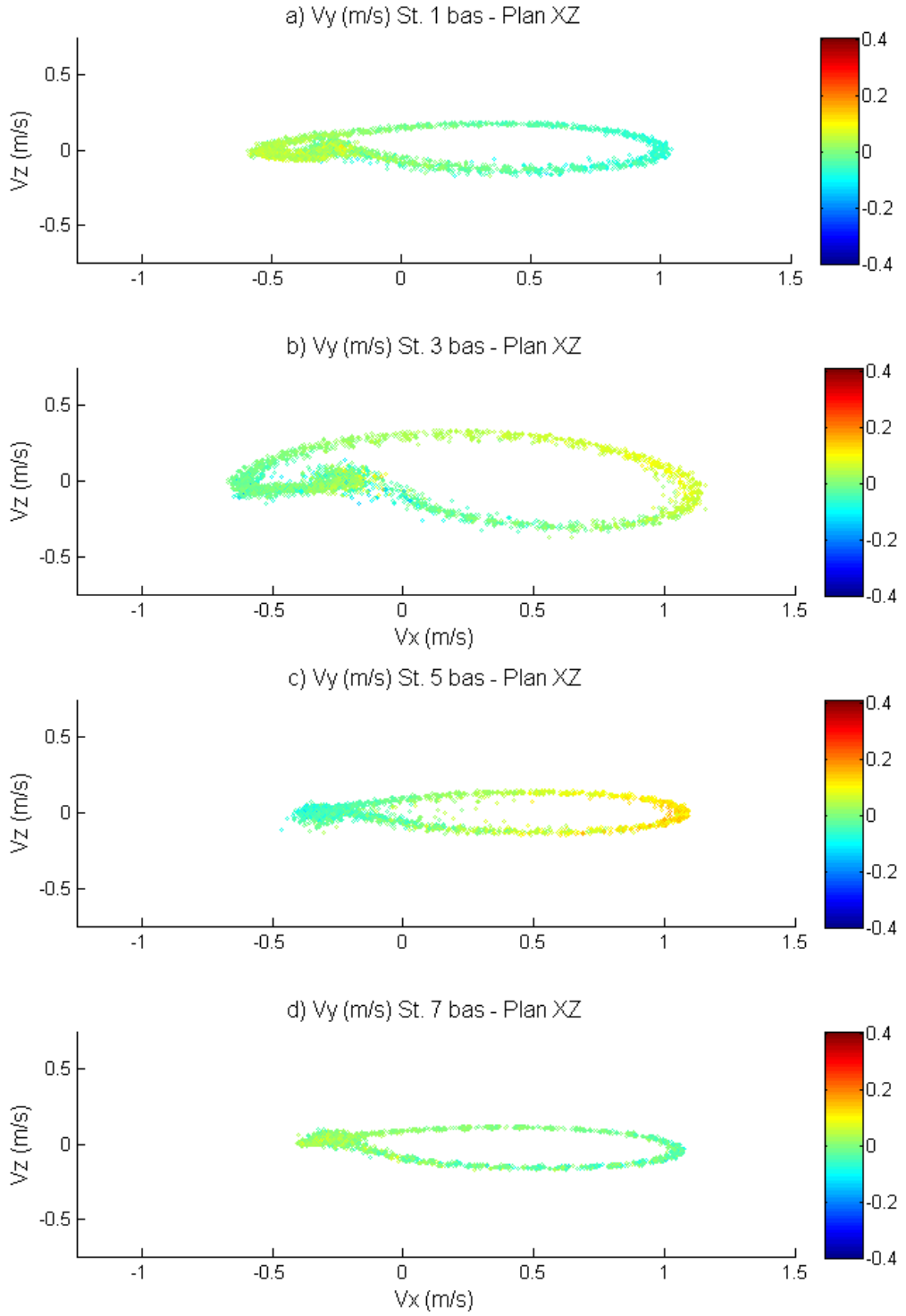


Figure 165. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino I situés au bas des quatre stations (a, b, c et d) pour une profondeur (d) de 3 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 8 s (N=3000)

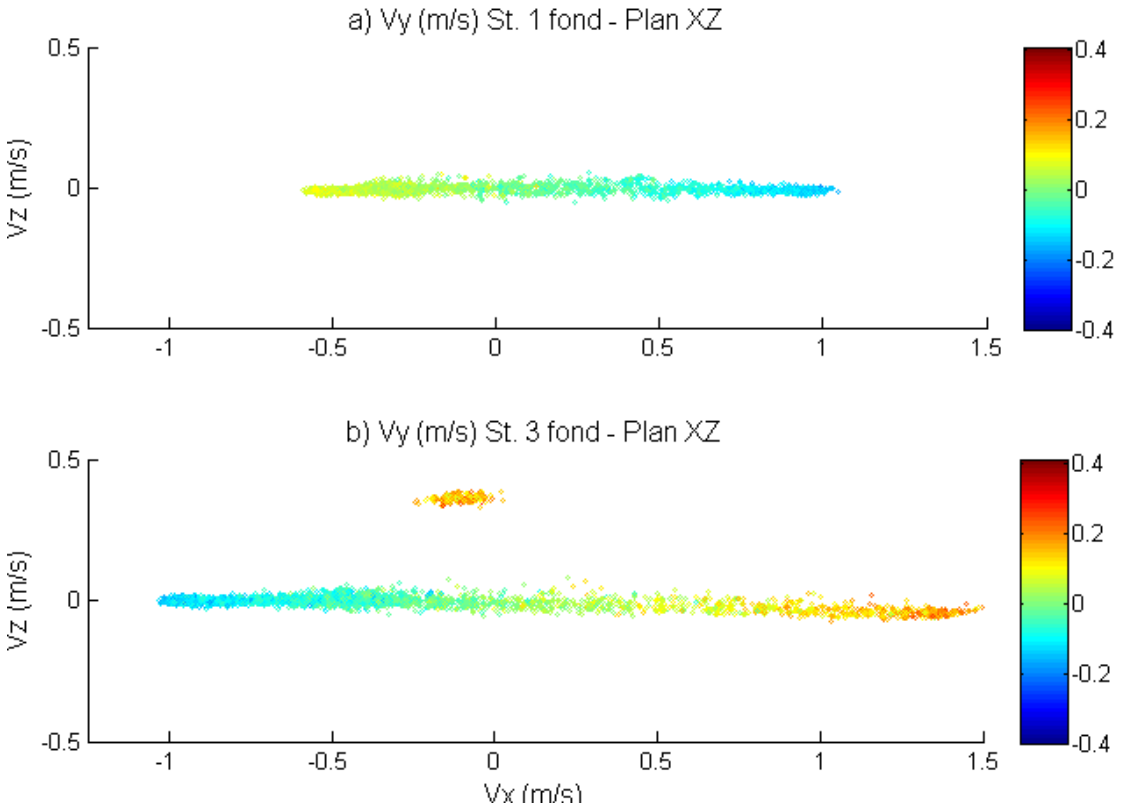


Figure 166. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino II situés au fond du canal aux stations a) 1 et b) 3 pour une profondeur (d) de 3 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 8 s (N=3000)

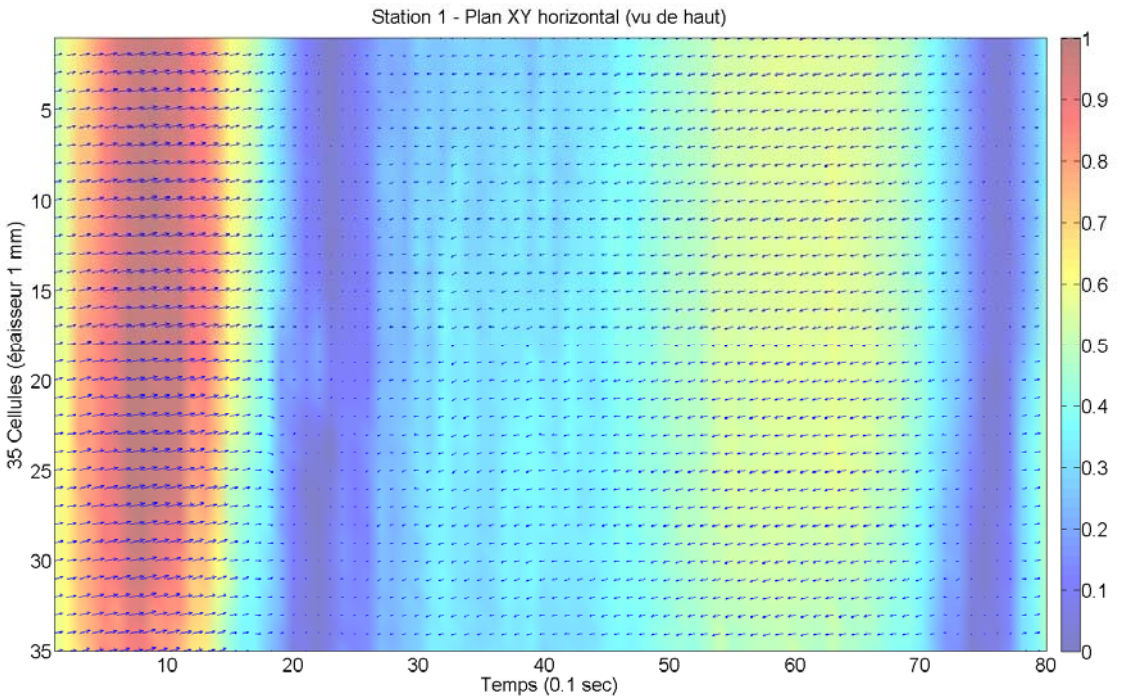


Figure 167. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XY) à la station 1 pour une profondeur (d) de 3 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 8 s (n = 2260 à 2339)

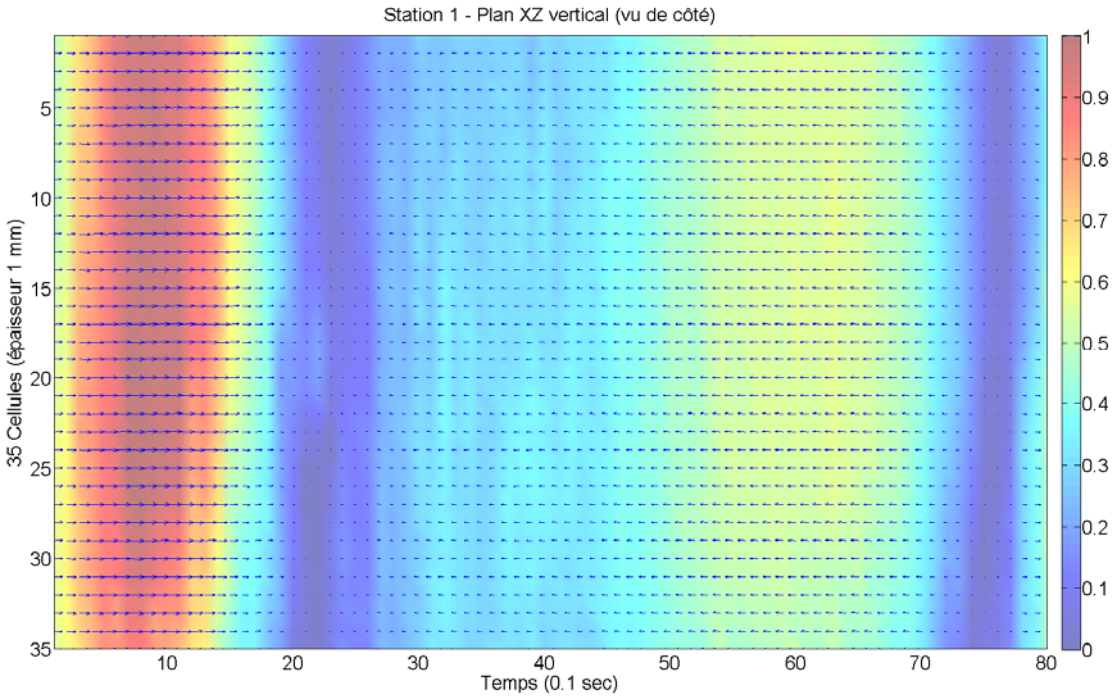


Figure 168. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XZ) à la station 1 pour une profondeur (d) de 3 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 8 s (n = 2260 à 2339)

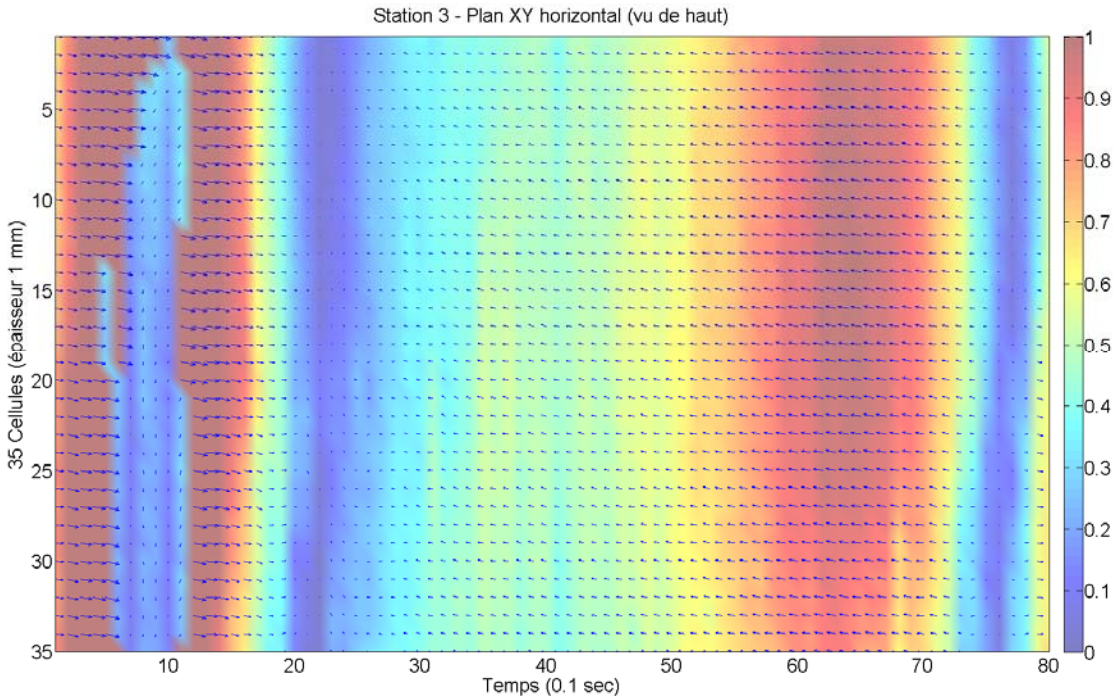


Figure 169. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XY) à la station 3 pour une profondeur (d) de 3 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 8 s (n = 2330 à 2409)

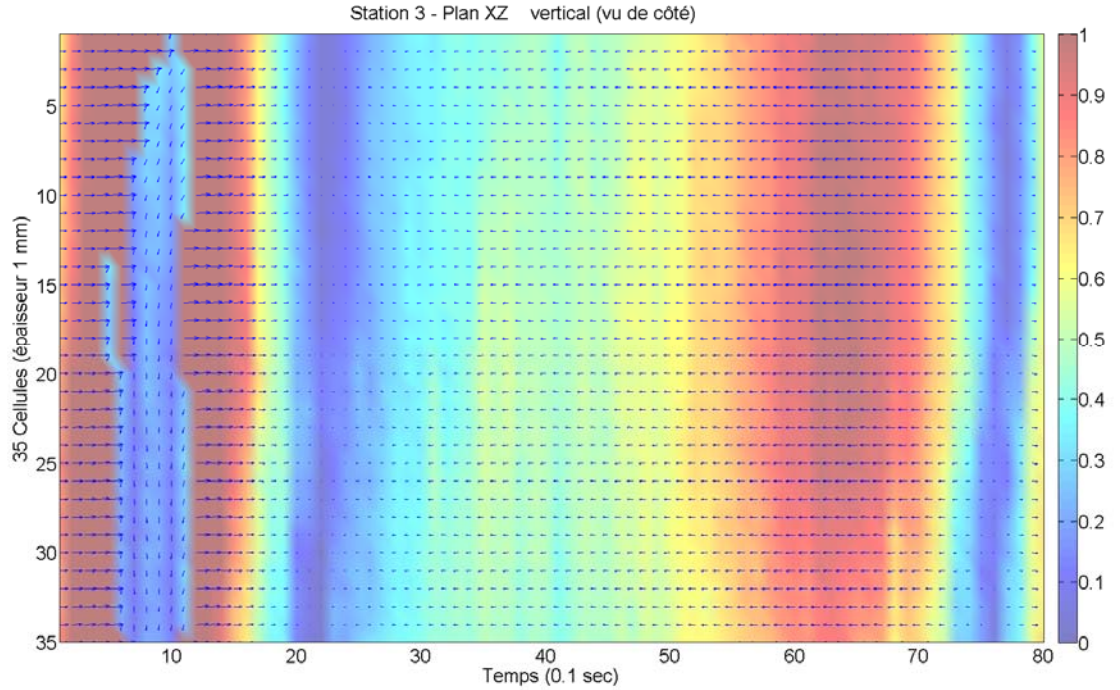


Figure 170. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XZ) à la station 3 pour une profondeur (d) de 3 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 8 s (n = 2330 à 2409)

Période de 10 secondes:

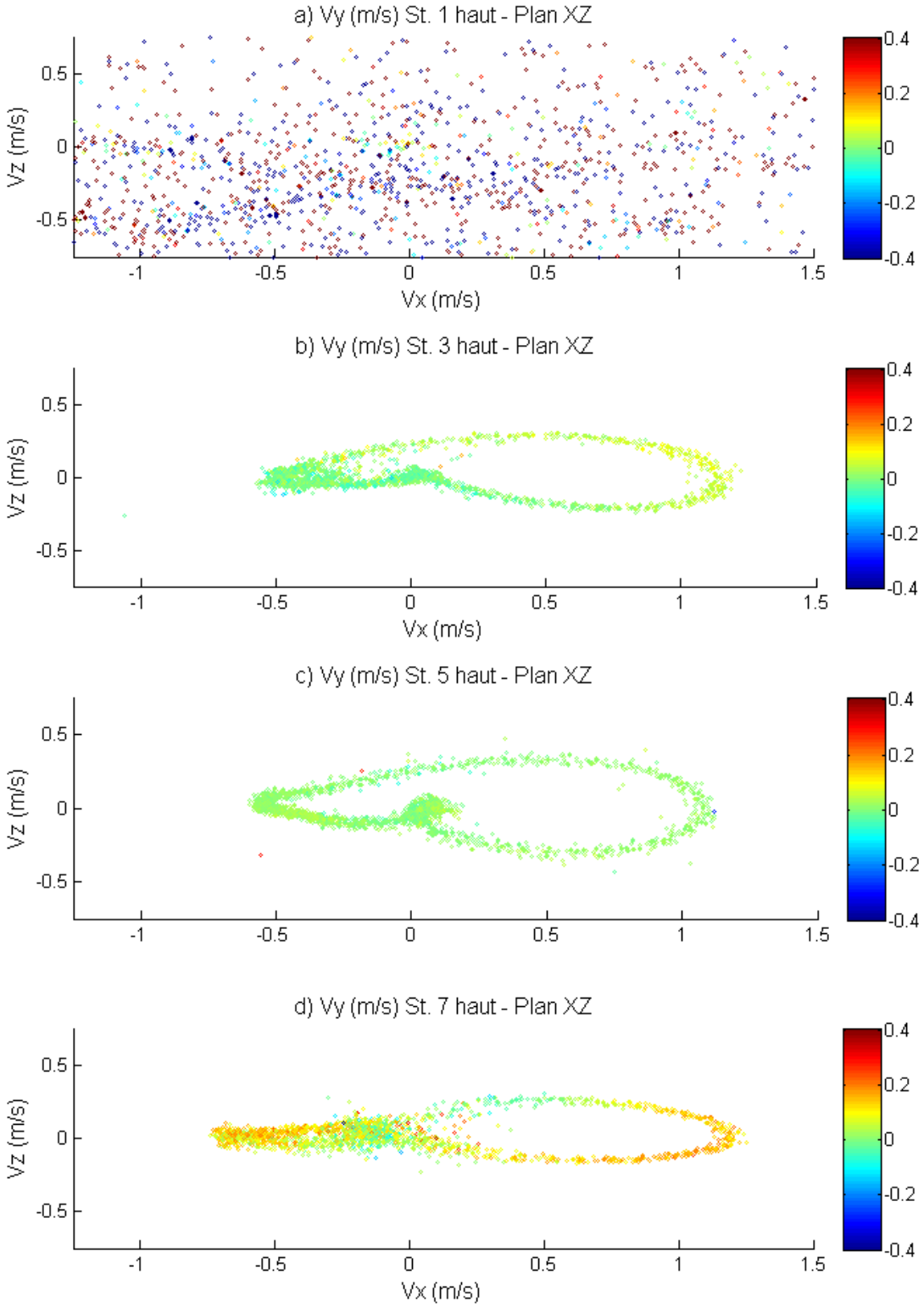


Figure 171. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino I situés en haut des quatre stations (a, b, c et d) pour une profondeur (d) de 3 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 10 s (N=1000)

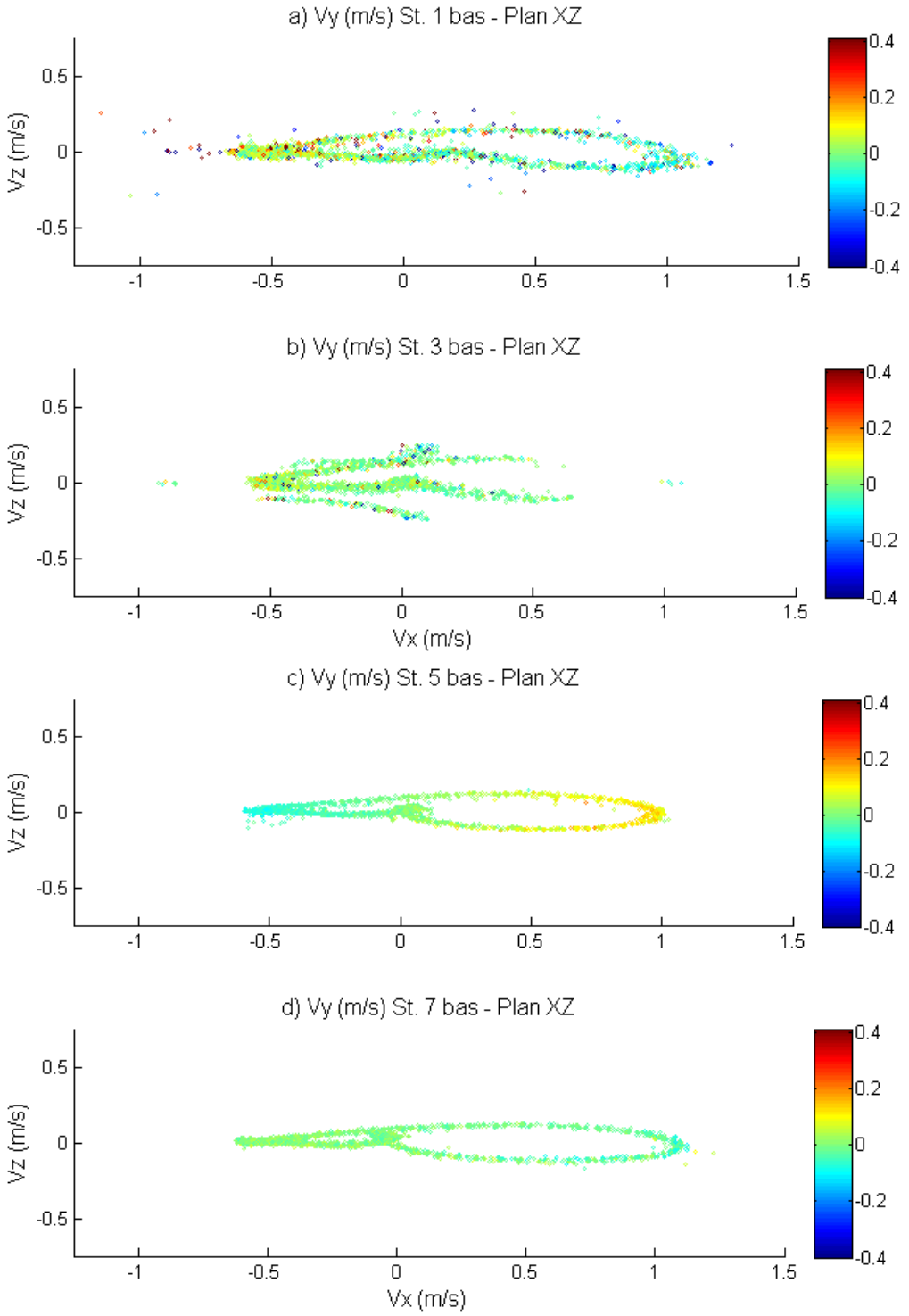


Figure 172. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino I situés au bas des quatre stations (a, b, c et d) pour une profondeur (d) de 3 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 10 s (N=2000)

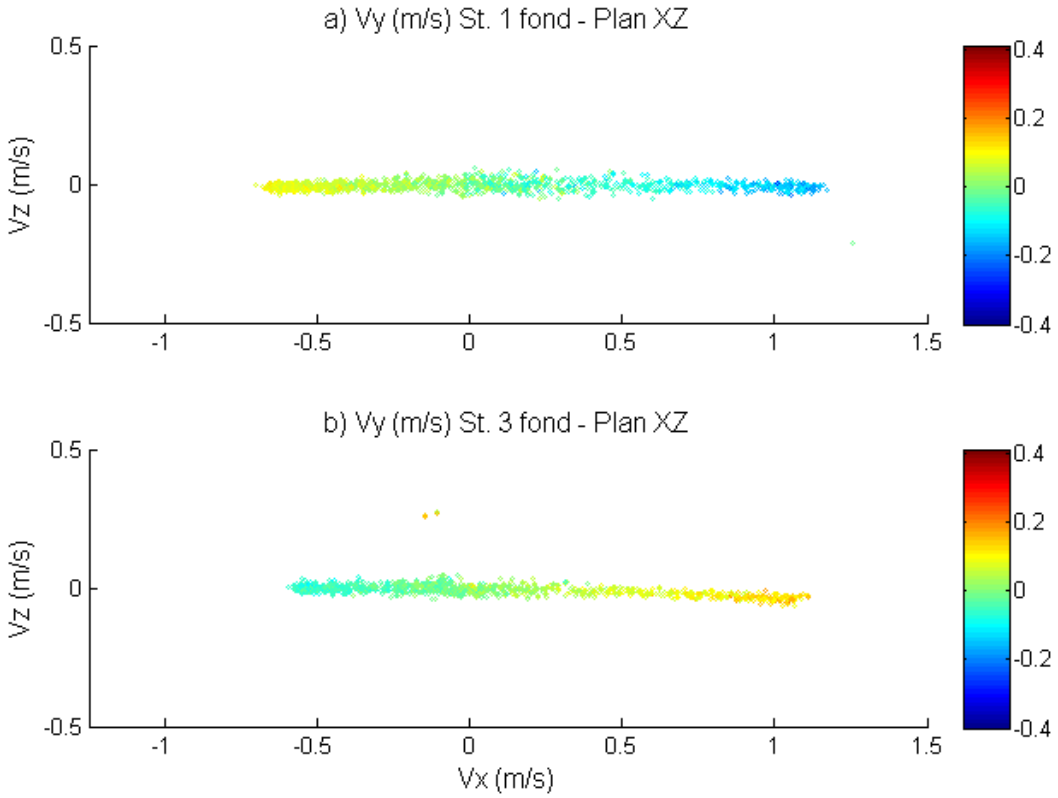


Figure 173. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino II situés au fond du canal aux stations a) 1 et b) 3 pour une profondeur (d) de 3 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 10 s (N=2000)

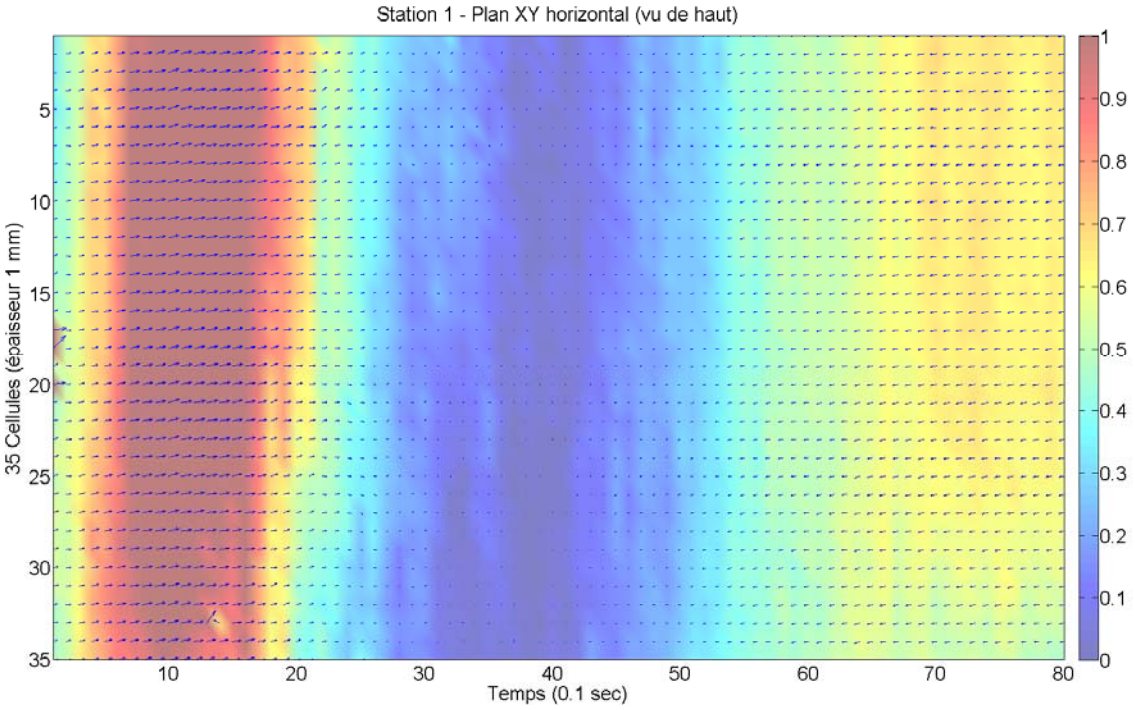


Figure 174. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XY) à la station 1 pour une profondeur (d) de 3 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 10 s (n = 2255 à 2334)

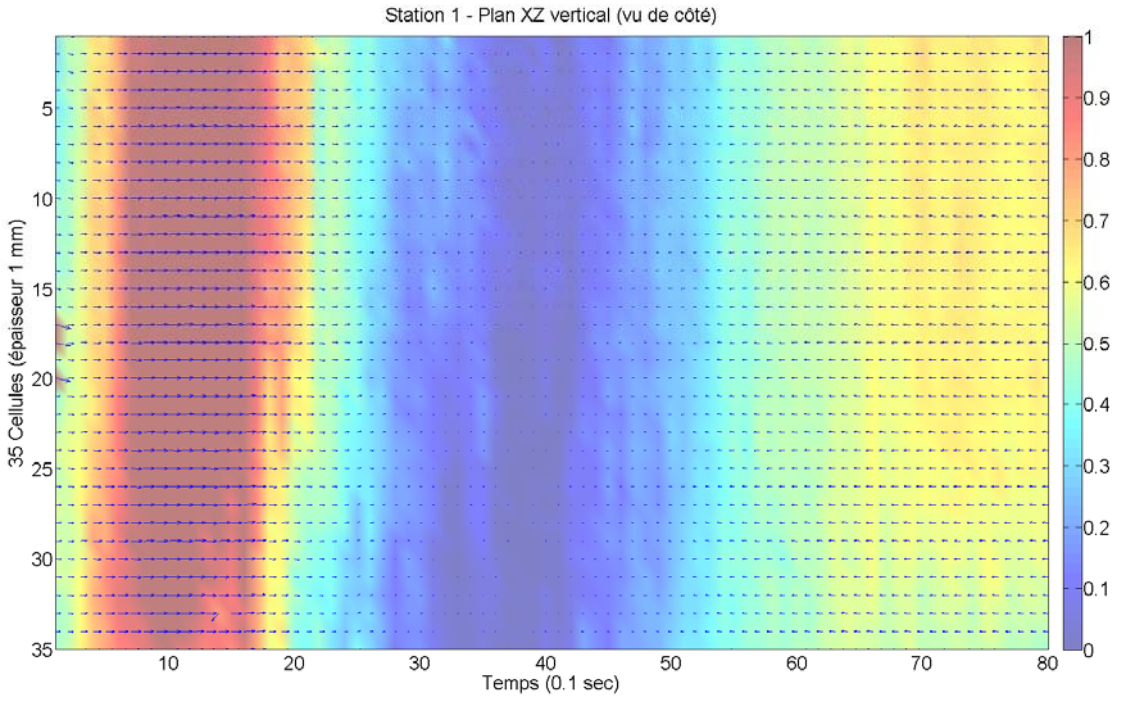


Figure 175. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XZ) à la station 1 pour une profondeur (d) de 3 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 10 s (n = 2255 à 2334)

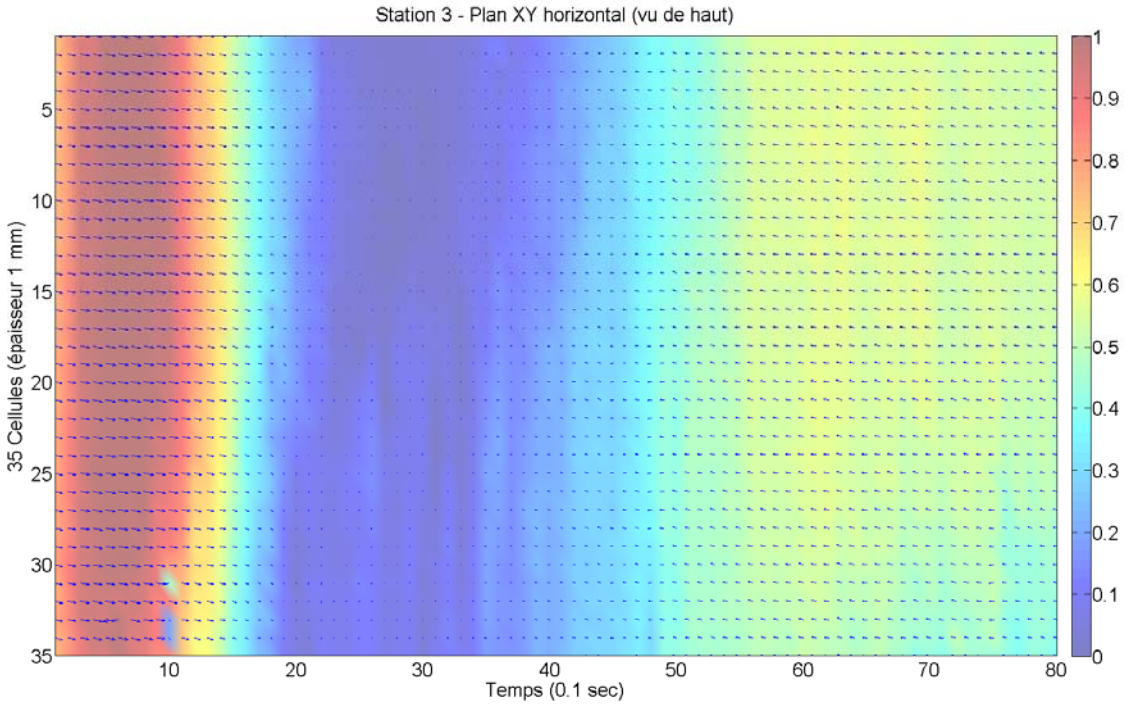


Figure 176. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XY) à la station 3 pour une profondeur (d) de 3 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 10 s (n = 2270 à 2349)

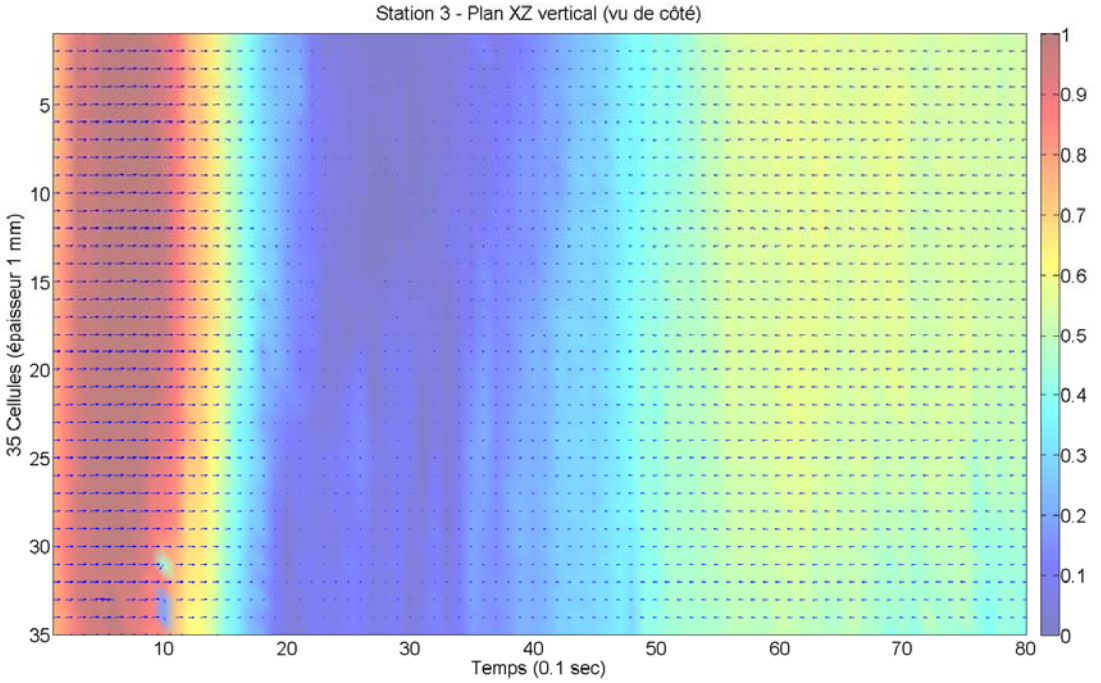


Figure 177. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XZ) à la station 3 pour une profondeur (d) de 3 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 10 s (n = 2270 à 2349)

Période de 12 secondes:

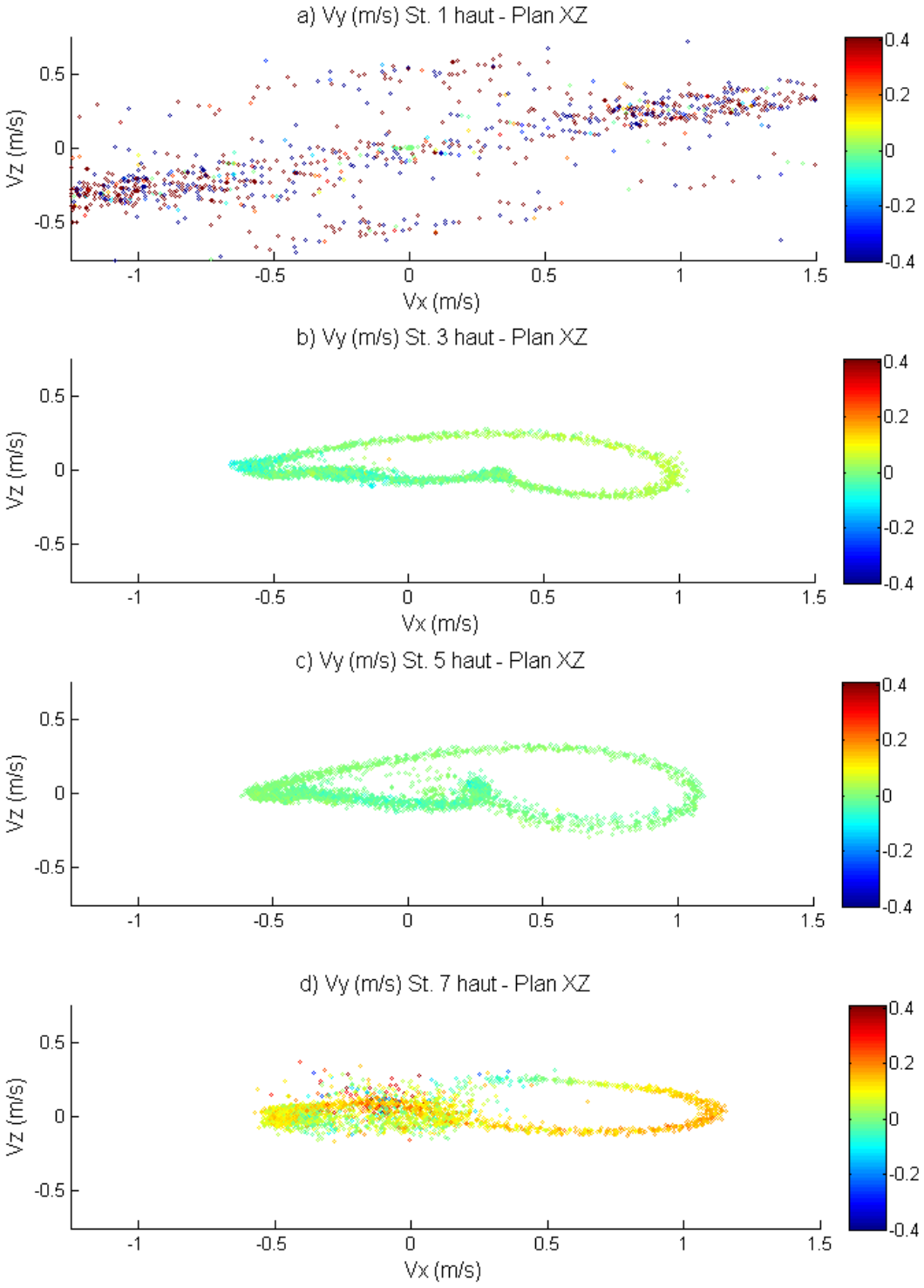


Figure 178. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino I situés en haut des quatre stations (a, b, c et d) pour une profondeur (d) de 3 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 12 s (N=3000)

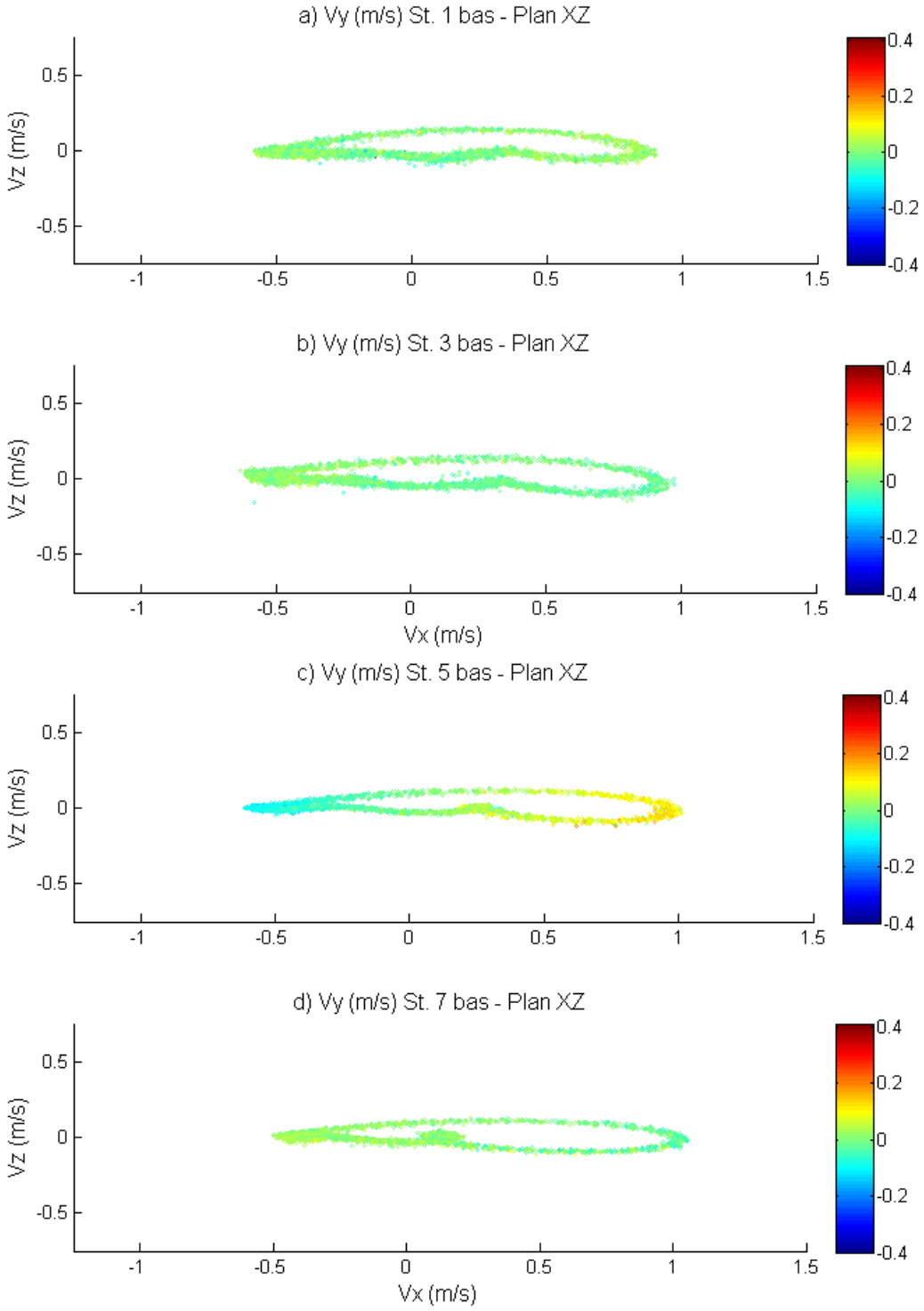


Figure 179. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino I situés au bas des quatre stations (a, b, c et d) pour une profondeur (d) de 3 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 12 s (N=3000)

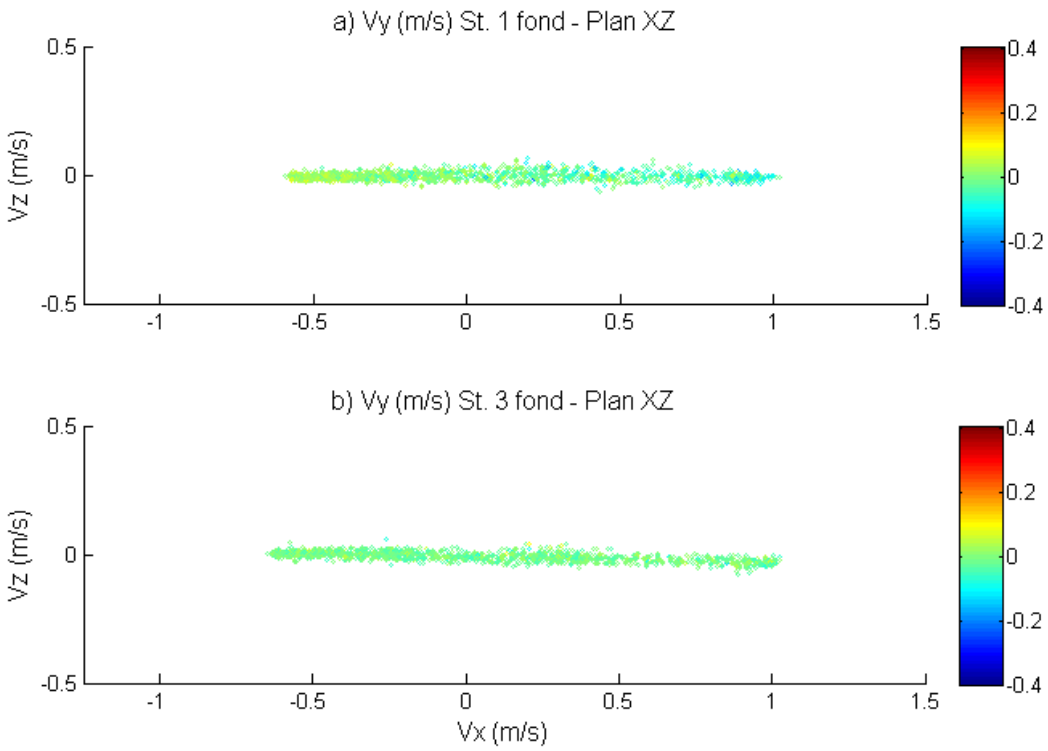


Figure 180. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino II situés au fond du canal aux stations a) 1 et b) 3 pour une profondeur (d) de 3 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 12 s (N=1500)

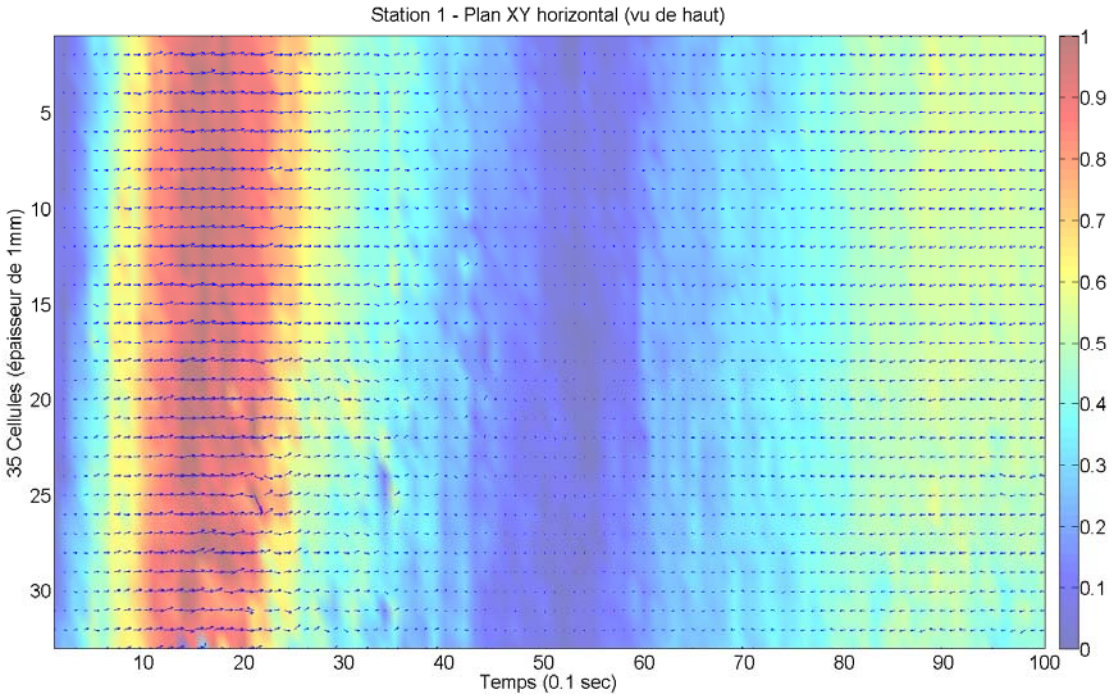


Figure 181. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XY) à la station 1 pour une profondeur (d) de 3 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 12 s (n = 2000 à 2099)

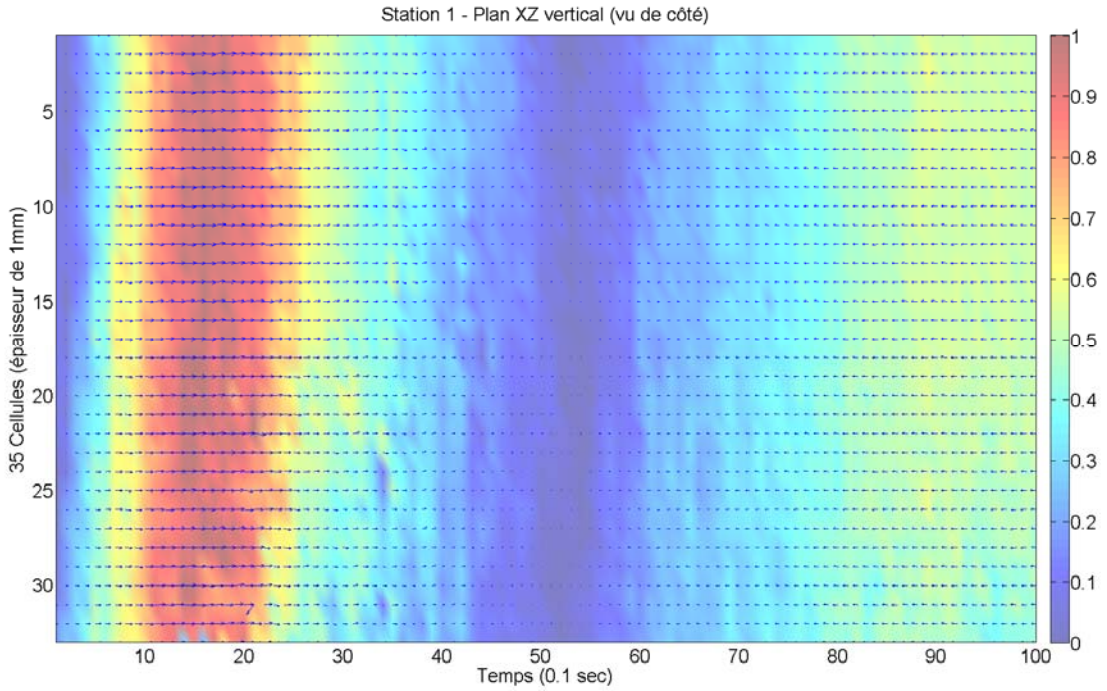


Figure 182. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XZ) à la station 1 pour une profondeur (d) de 3 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 12 s (n = 2000 à 2099)

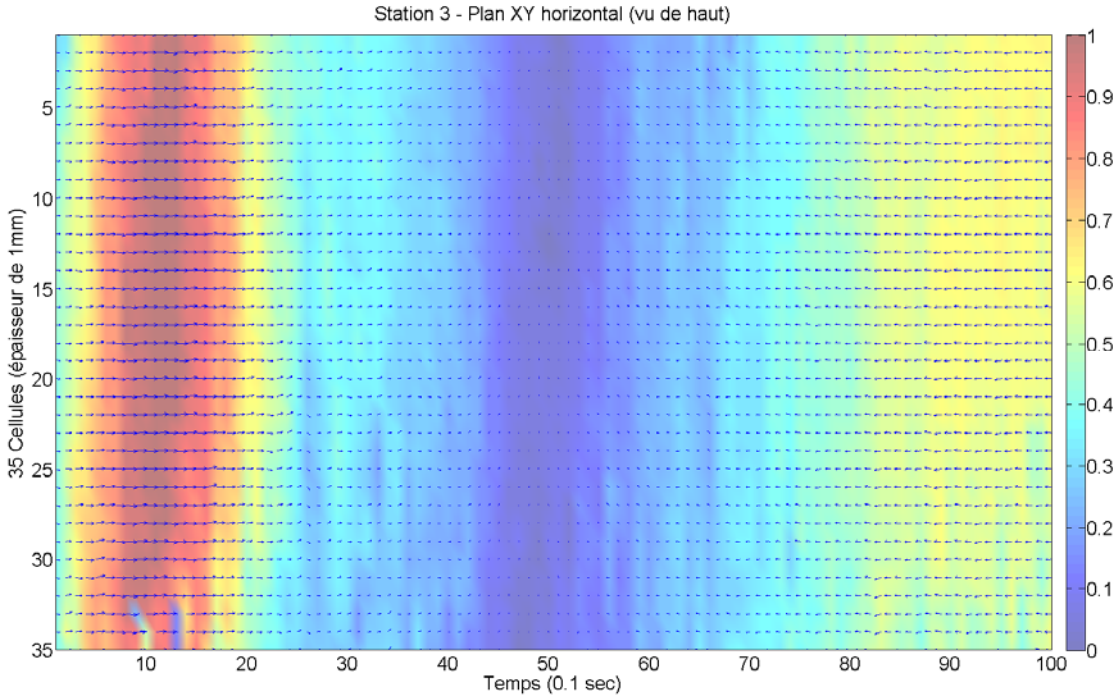


Figure 183. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XY) à la station 3 pour une profondeur (d) de 3 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 12 s (n = 2060 à 2159)

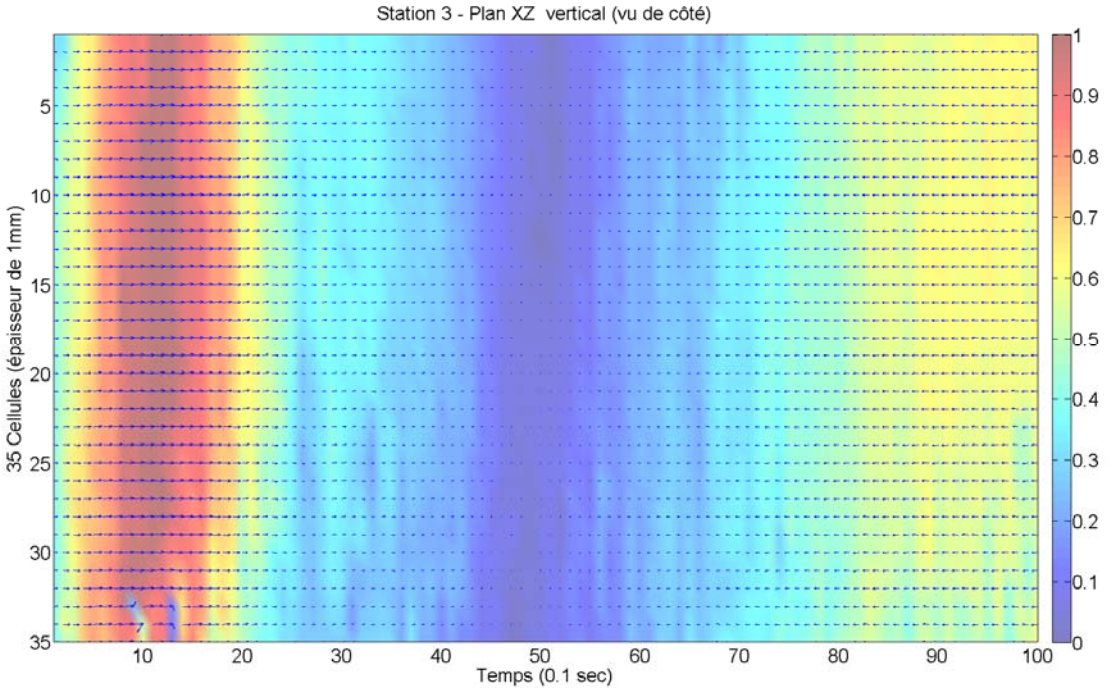


Figure 184. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XZ) à la station 3 pour une profondeur (d) de 3 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 12 s (n = 2060 à 2159)

5.2.6 Profondeur d'eau (d) de 3 mètres et hauteur de vague (H) de 1,5 mètre

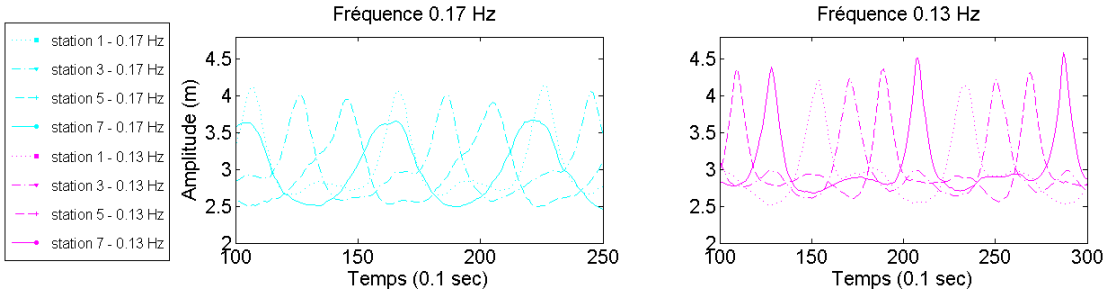


Figure 185. Niveaux d'eau enregistrés aux stations 1, 3, 5 et 7 pour une profondeur d'eau de 3 mètres, des vagues de 1,5 mètre de hauteur et des périodes de 6 et 8 secondes respectivement.

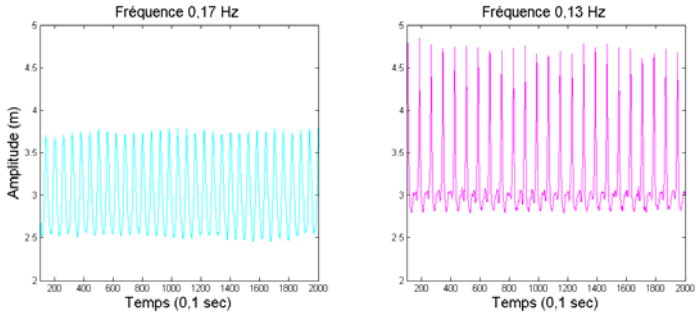


Figure 186. Niveaux d'eau enregistrés à la station 7 pour une profondeur d'eau de 3 mètres, des vagues de 1,5 mètre de hauteur et des périodes de 6 et 8 secondes respectivement.

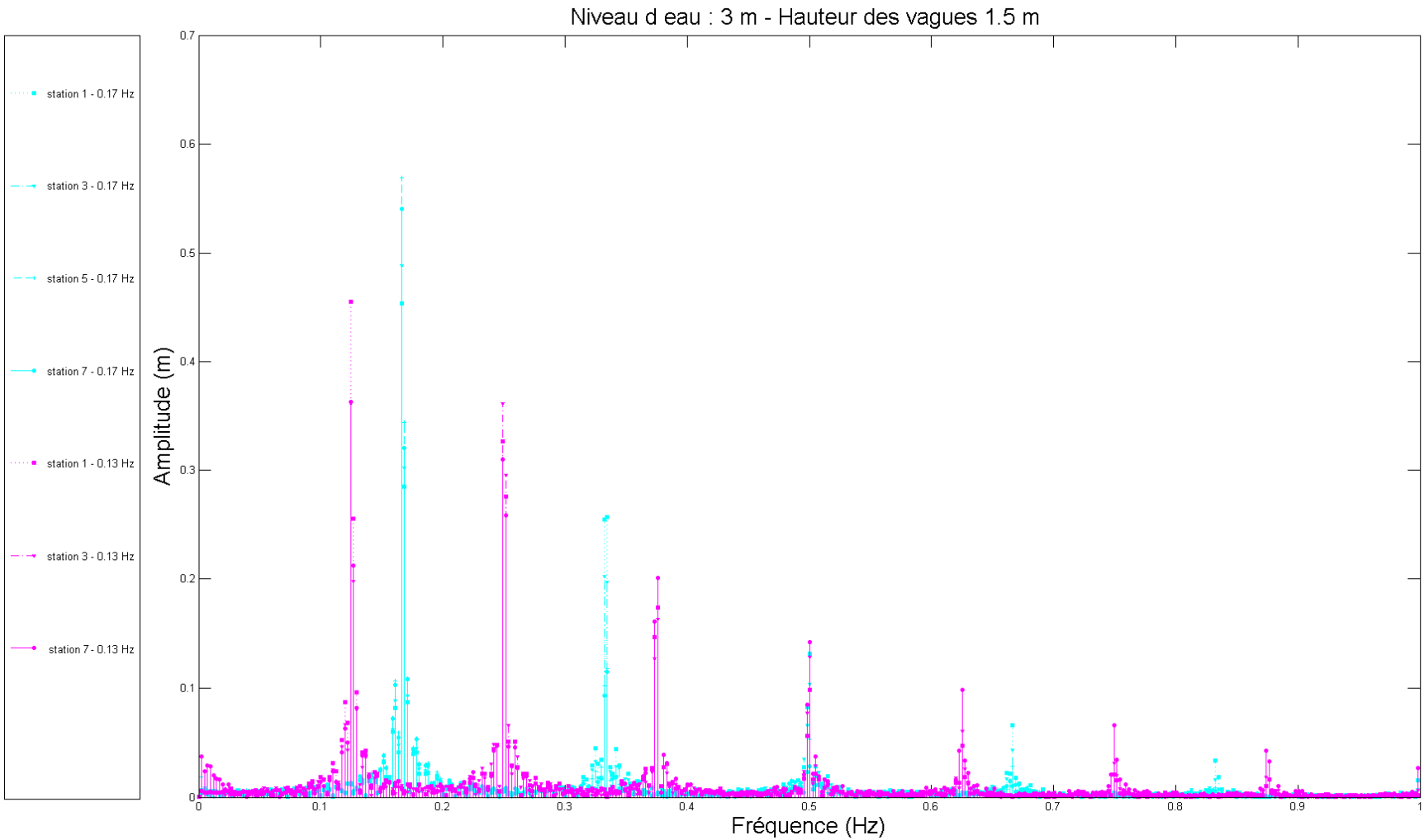


Figure 187. Transformée de Fourier: Résultats de l'analyse spectrale pour une profondeur d'eau de 3 m et une hauteur de vague de 1,5 m en fonction des différentes périodes de 6 s (0,17 Hz) et 8 s (0,13 Hz) et 10 s (0,10Hz) pour les quatre stations d'échantillonnage du canal

Période de 6 secondes:

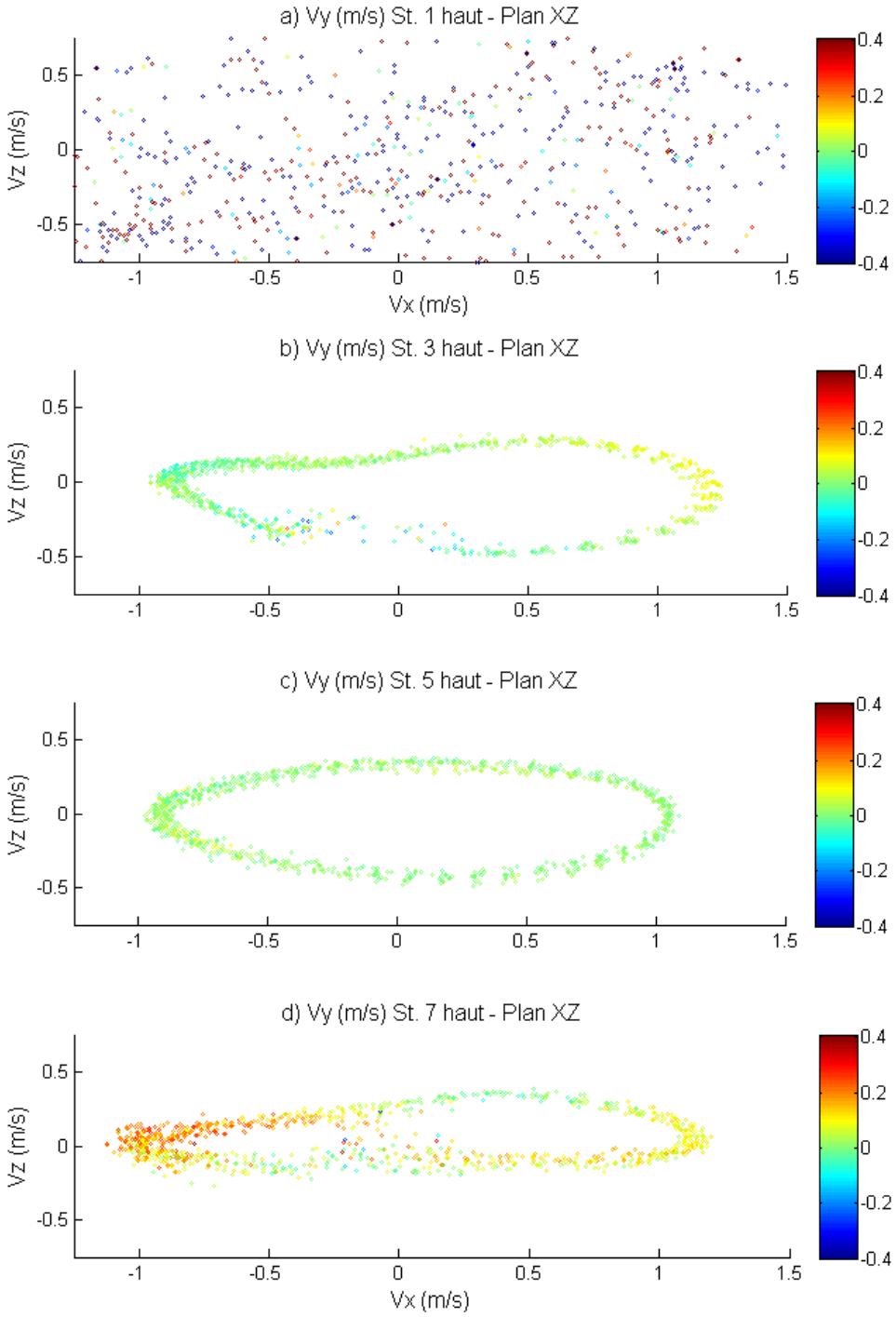


Figure 188. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino I situés en haut des quatre stations (a, b, c et d) pour une profondeur (d) de 3 m, une hauteur de vague (H) de 1,5 m et une période (T) de 6 s (N=1000)

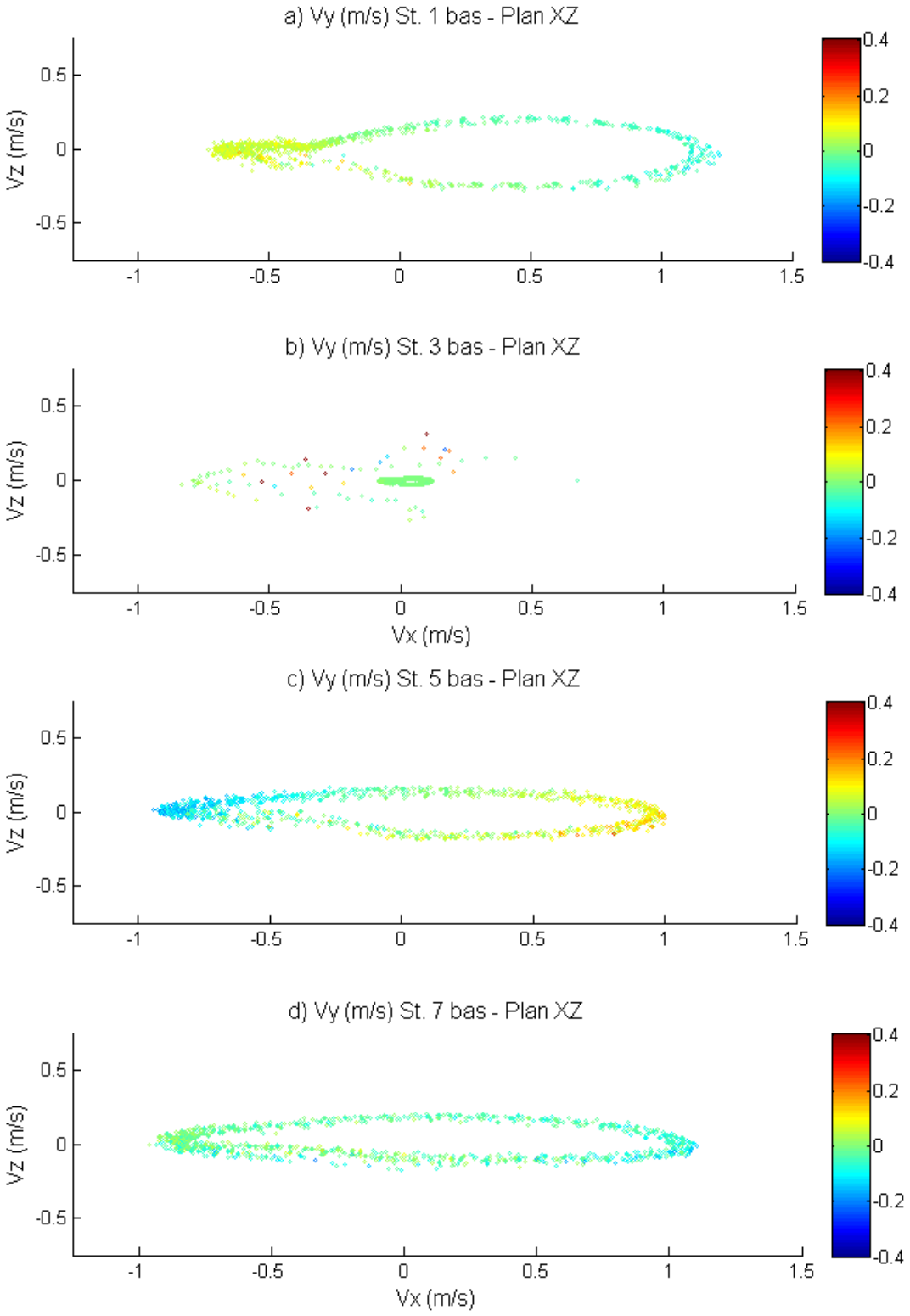


Figure 189. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino I situés au bas des quatre stations (a, b, c et d) pour une profondeur (d) de 3 m, une hauteur de vague (H) de 1,5 m et une période (T) de 6 s (N=1000)

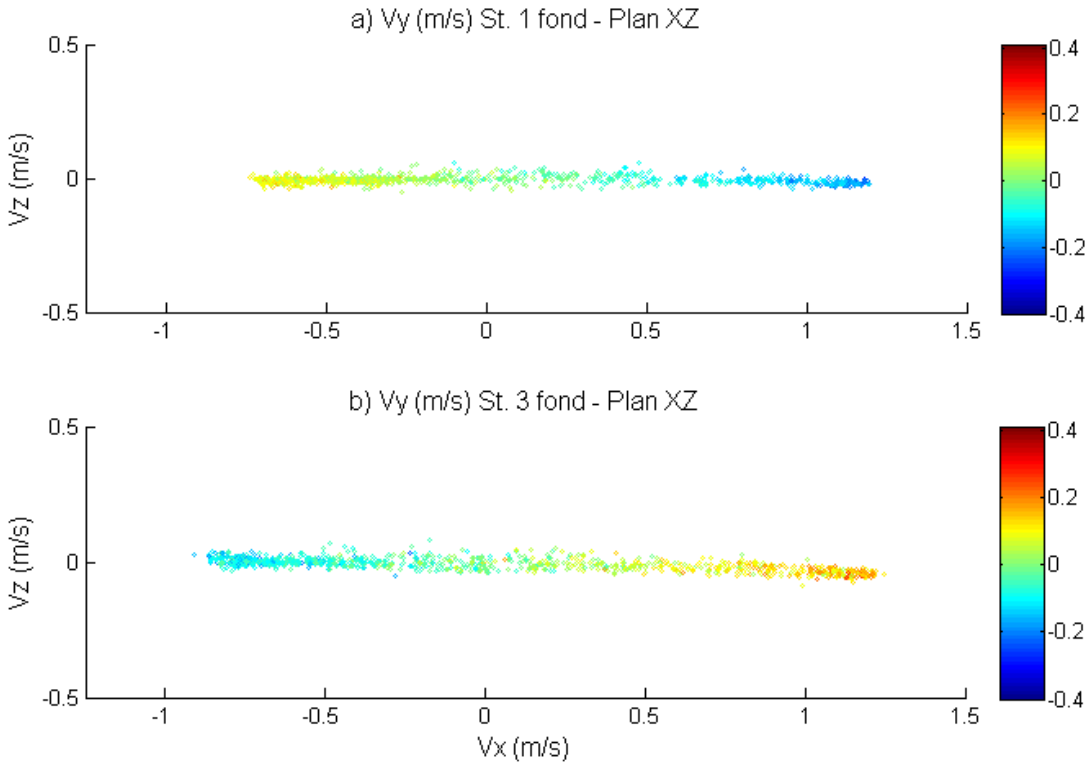


Figure 190. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino II situés au fond du canal aux stations a) 1 et b) 3 pour une profondeur (d) de 3 m, une hauteur de vague (H) de 1,5 m et une période (T) de 6 s (N=1500)

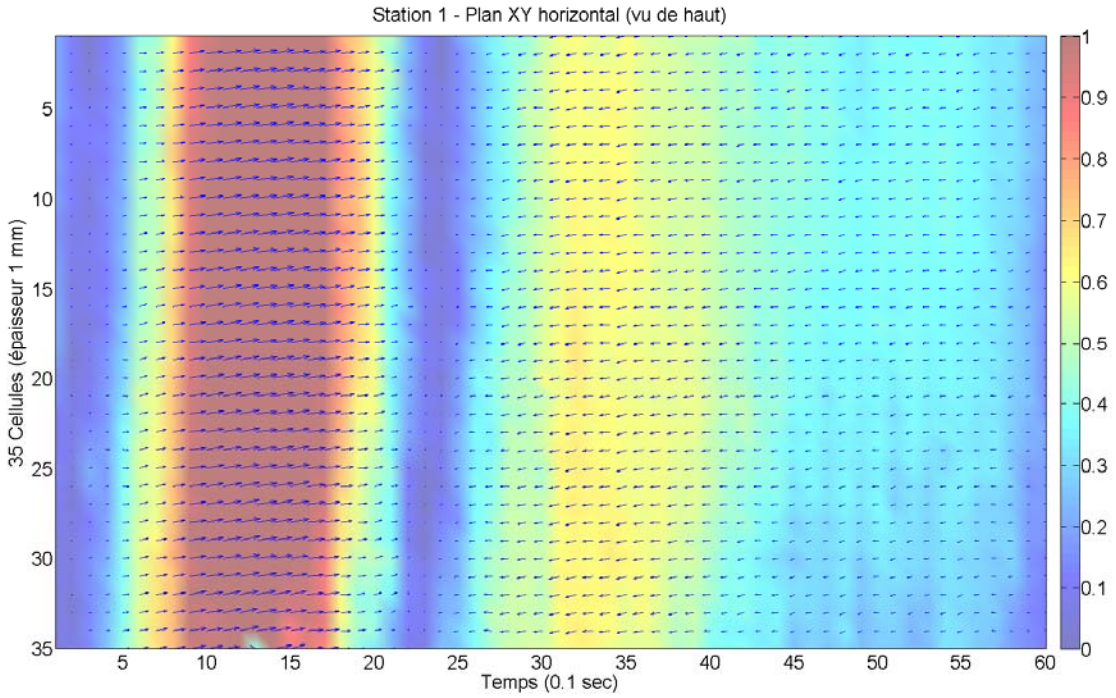


Figure 191. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XY) à la station 1 pour une profondeur (d) de 3 m, une hauteur de vague (H) de 1,5 m et une période (T) de 6 s (n = 2000 à 2099)

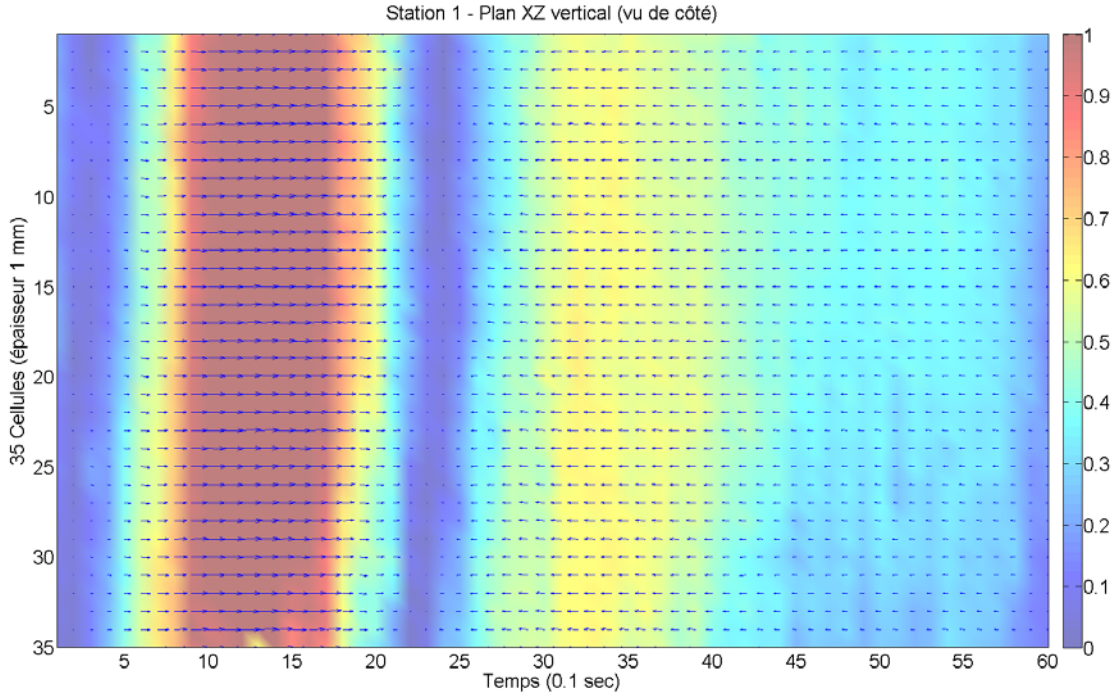


Figure 192. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XZ) à la station 1 pour une profondeur (d) de 3 m, une hauteur de vague (H) de 1,5 m et une période (T) de 6 s (n = 2000 à 2099)

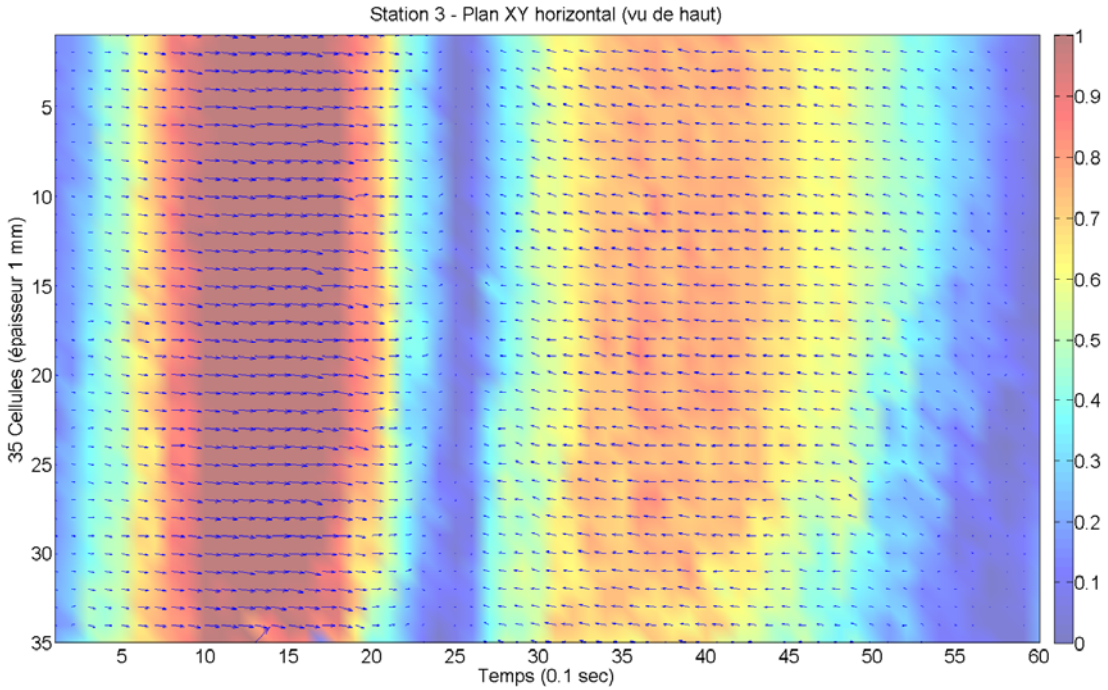


Figure 193. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XY) à la station 3 pour une profondeur (d) de 3 m, une hauteur de vague (H) de 1,5 m et une période (T) de 6 s (n = 2060 à 2159)

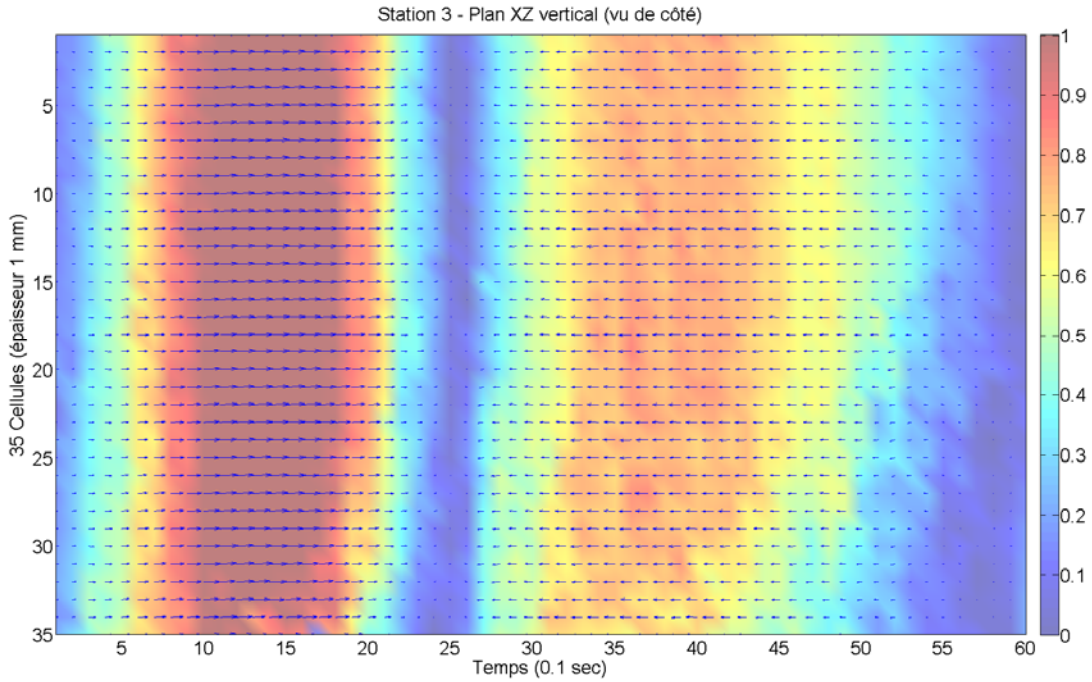


Figure 194. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XZ) à la station 3 pour une profondeur (d) de 3 m, une hauteur de vague (H) de 1,5 m et une période (T) de 6 s (n = 2060 à 2159)

Période de 8 secondes:

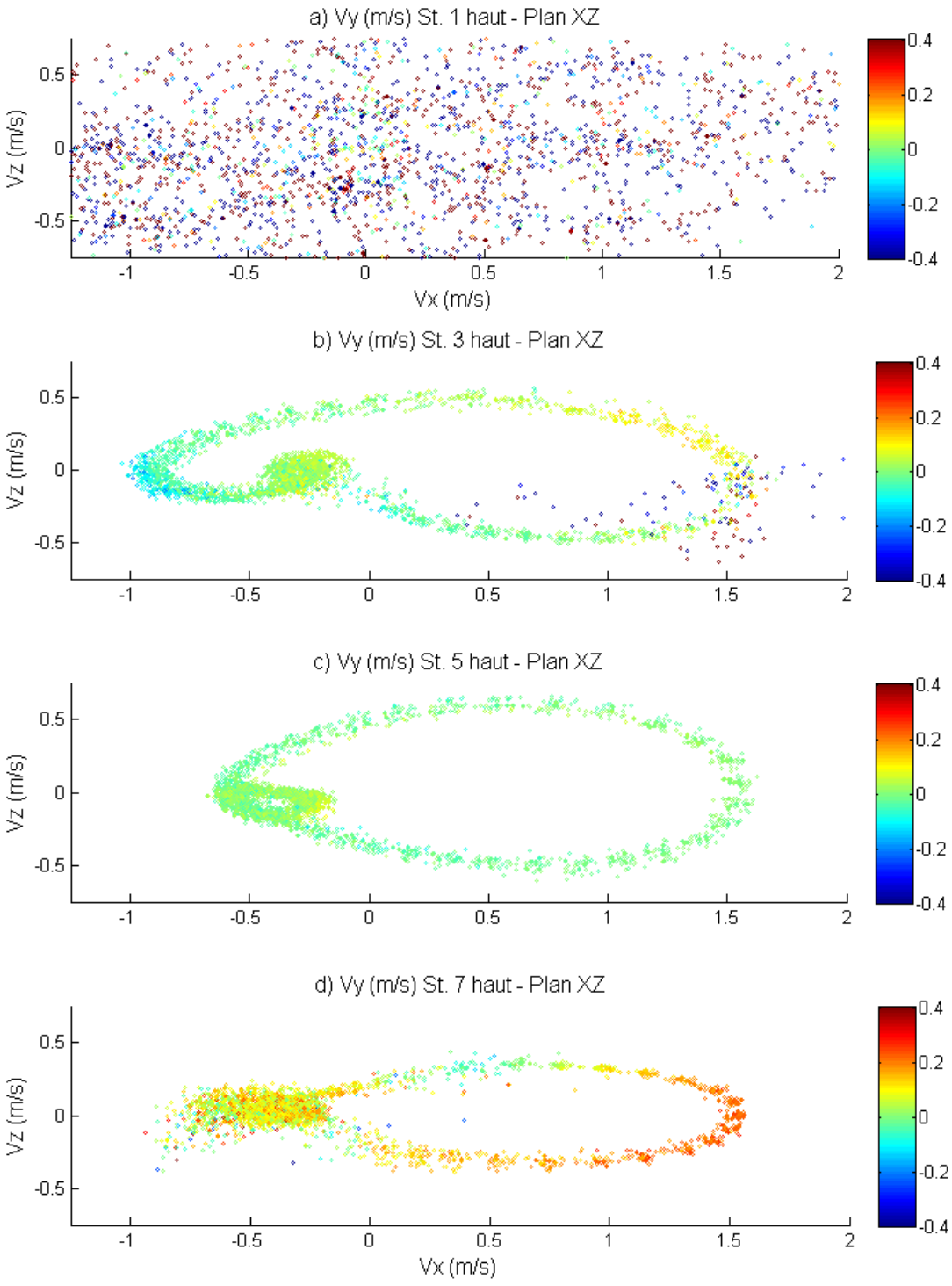


Figure 195. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino I situés en haut des quatre stations (a, b, c et d) pour une profondeur (d) de 3 m, une hauteur de vague (H) de 1,5 m et une période (T) de 8 s (N=3000)

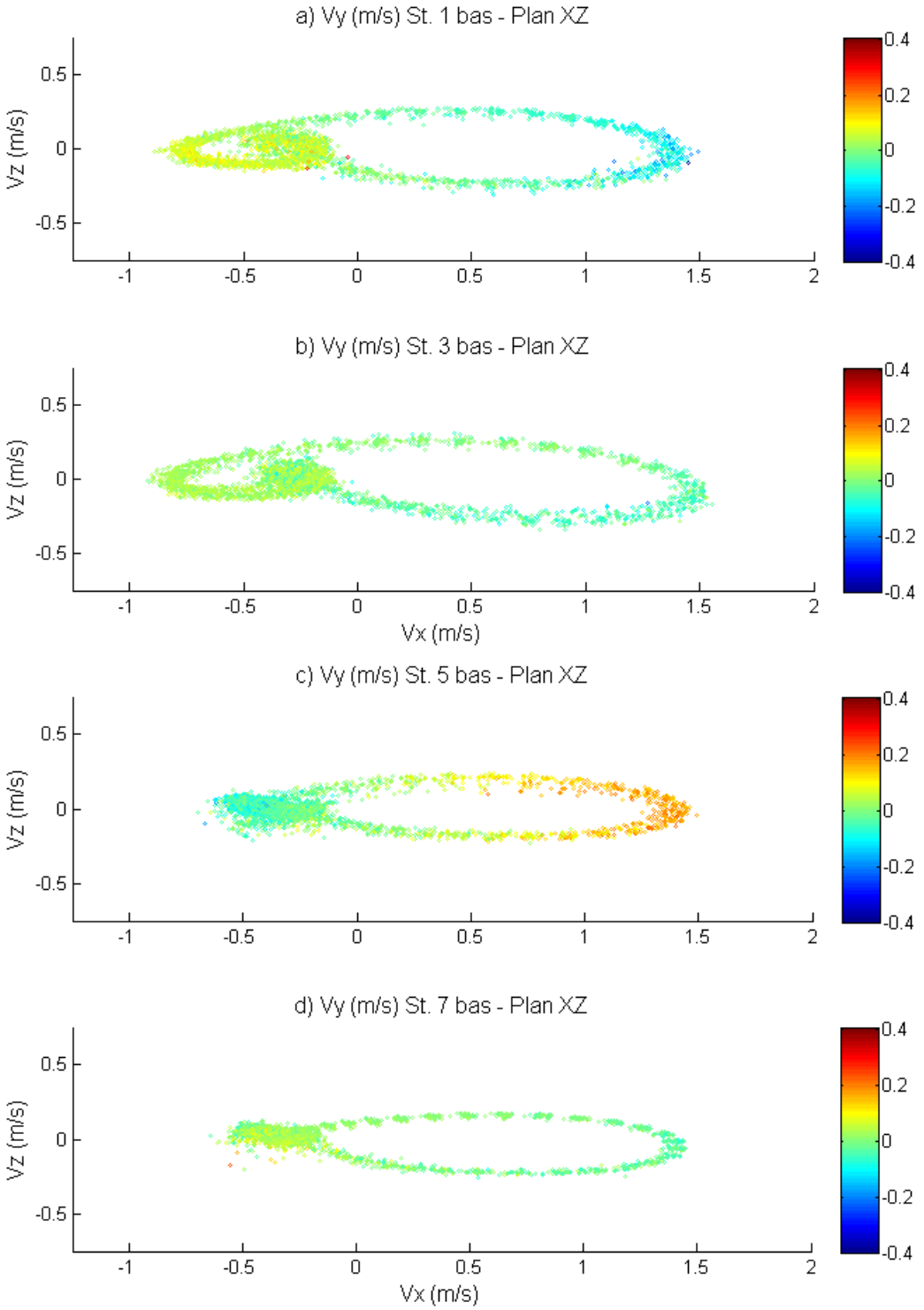


Figure 196. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino I situés au bas des quatre stations (a, b, c et d) pour une profondeur (d) de 3 m, une hauteur de vague (H) de 1,5 m et une période (T) de 8 s (N=3000)

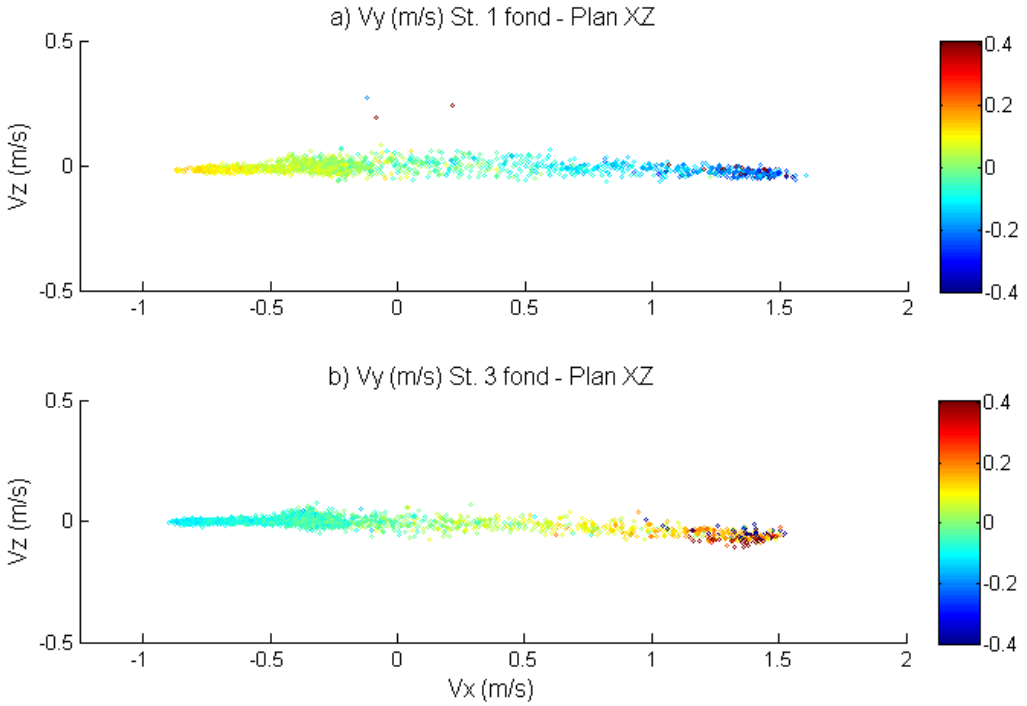


Figure 197. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino II situés au fond du canal aux stations a) 1 et b) 3 pour une profondeur (d) de 3 m, une hauteur de vague (H) de 1,5 m et une période (T) de 8 s (N=2000)

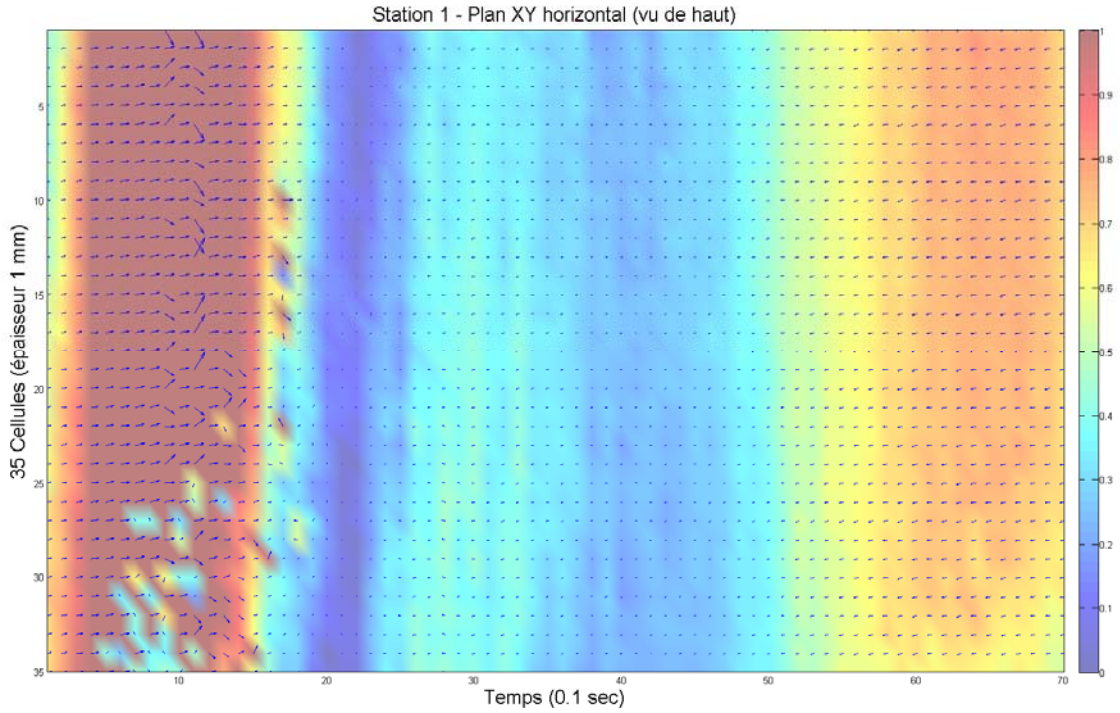


Figure 198. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XY) à la station 1 pour une profondeur (d) de 3 m, une hauteur de vague (H) de 1,5 m et une période (T) de 8 s (n = 2185 à 2254)

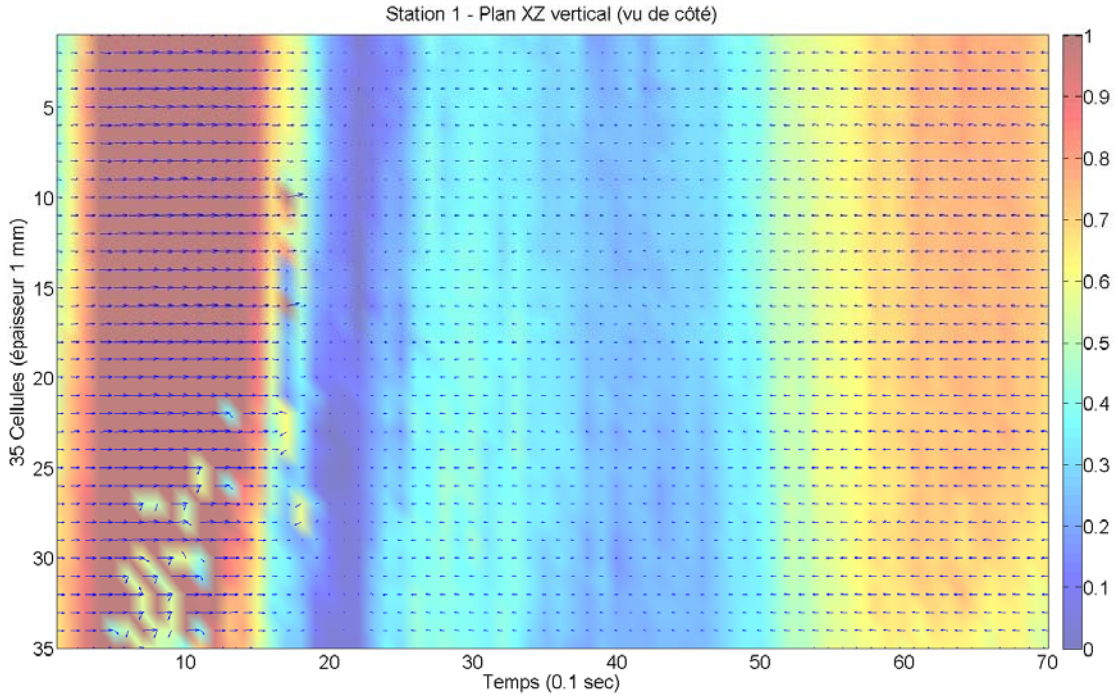


Figure 199. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XZ) à la station 1 pour une profondeur (d) de 3 m, une hauteur de vague (H) de 1,5 m et une période (T) de 8 s (n = 2185 à 2254)

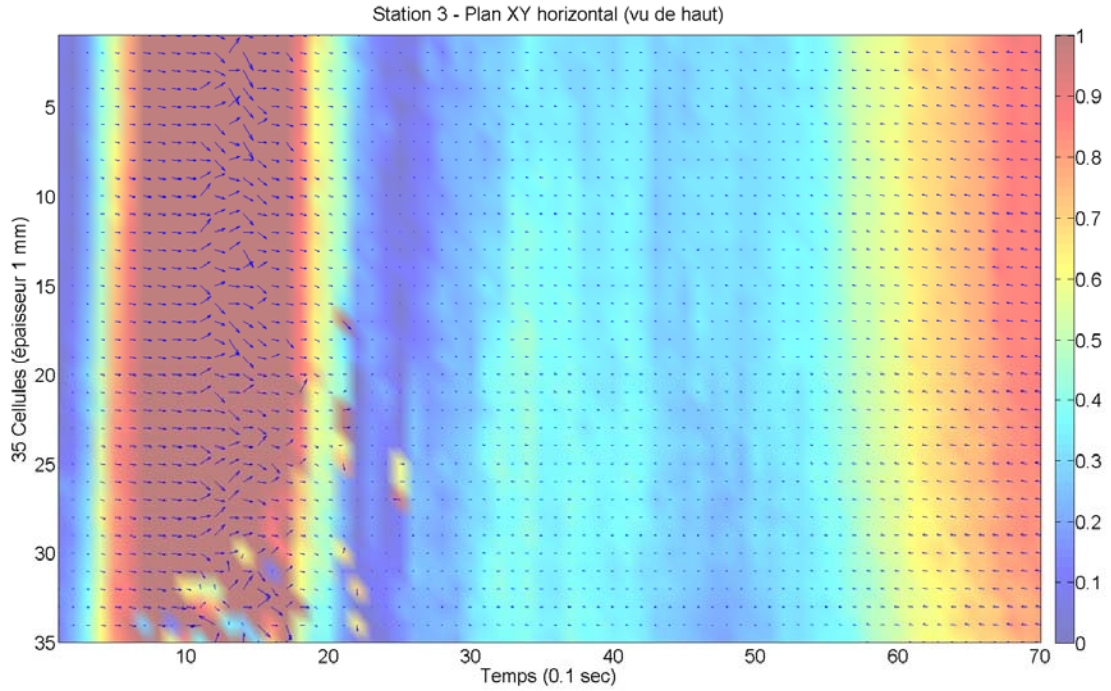


Figure 200. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XY) à la station 3 pour une profondeur (d) de 3 m, une hauteur de vague (H) de 1,5 m et une période (T) de 8 s (n = 2195 à 2264)

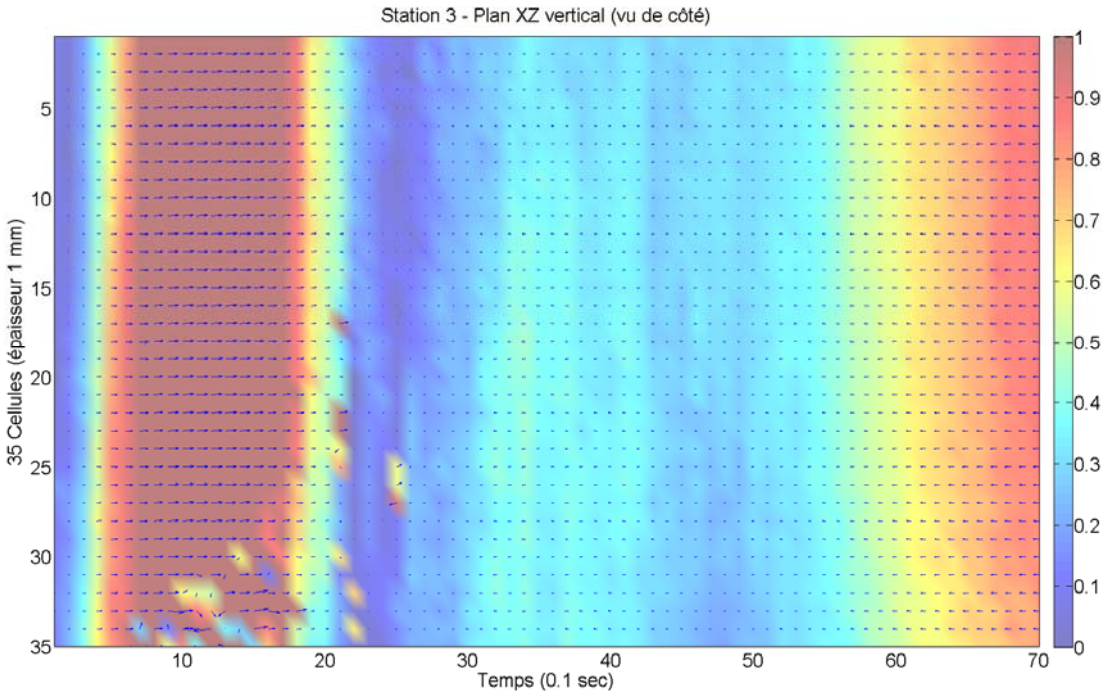


Figure 201. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XZ) à la station 3 pour une profondeur (d) de 3 m, une hauteur de vague (H) de 1,5 m et une période (T) de 8 s (n = 2195 à 2264)

5.2.7 Profondeur d'eau (d) de 3,5 mètres et hauteur de vague (H) de 0,5 mètre

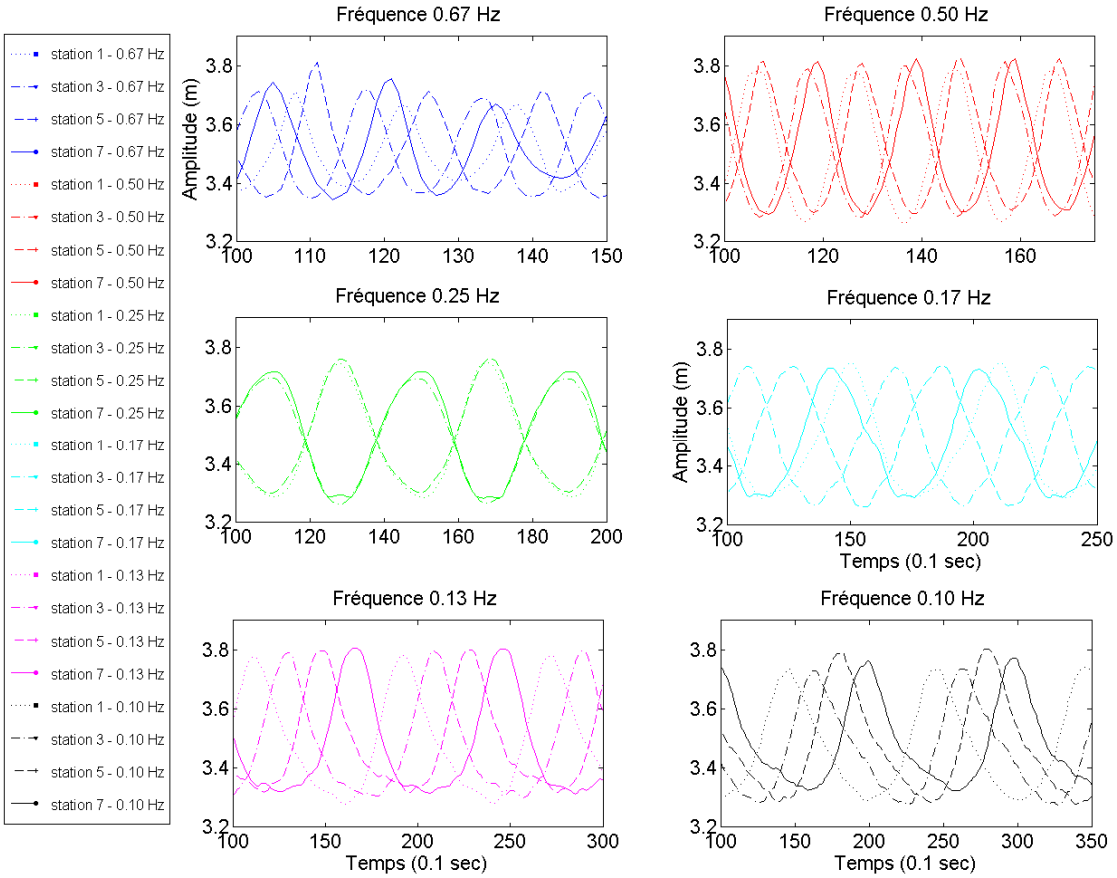


Figure 202. Niveaux d'eau enregistrés aux stations 1, 3, 5 et 7 pour une profondeur d'eau de 3,5 mètres, des vagues de 0,5 mètre de hauteur et des périodes de 1,5, 2, 4, 6, 8 et 10 secondes respectivement.

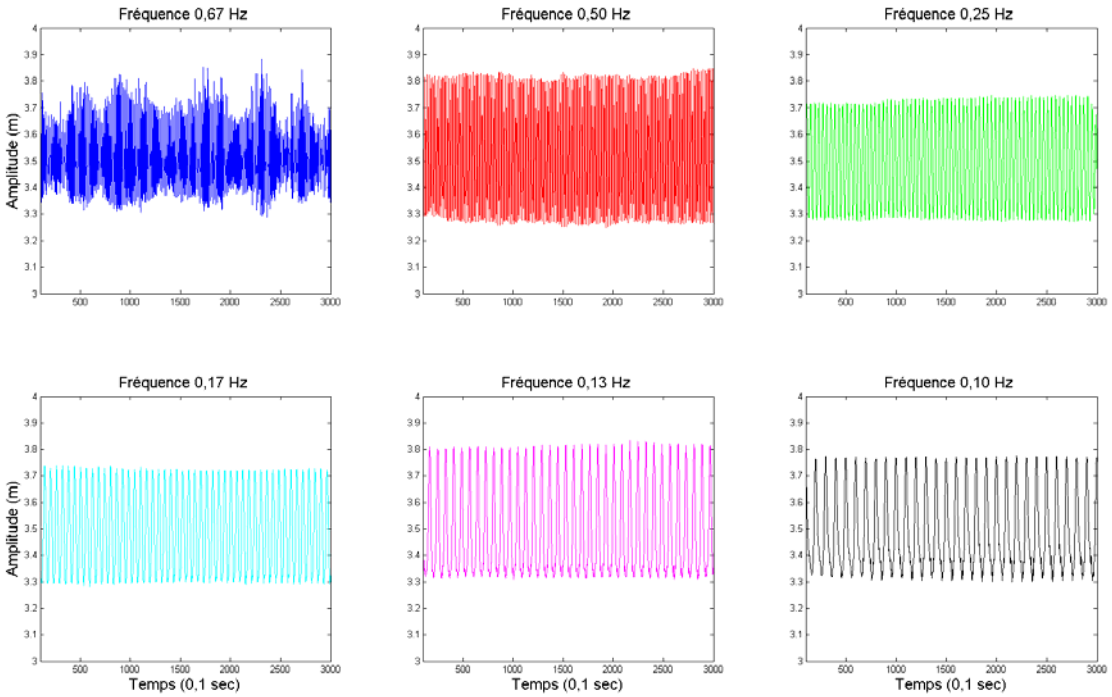


Figure 203. Niveaux d'eau enregistrés à la station 7 pour une profondeur d'eau de 3.5 mètres, des vagues de 0,5 mètre de hauteur et des périodes de 1.5, 2, 4, 6, 8 et 10 secondes respectivement.

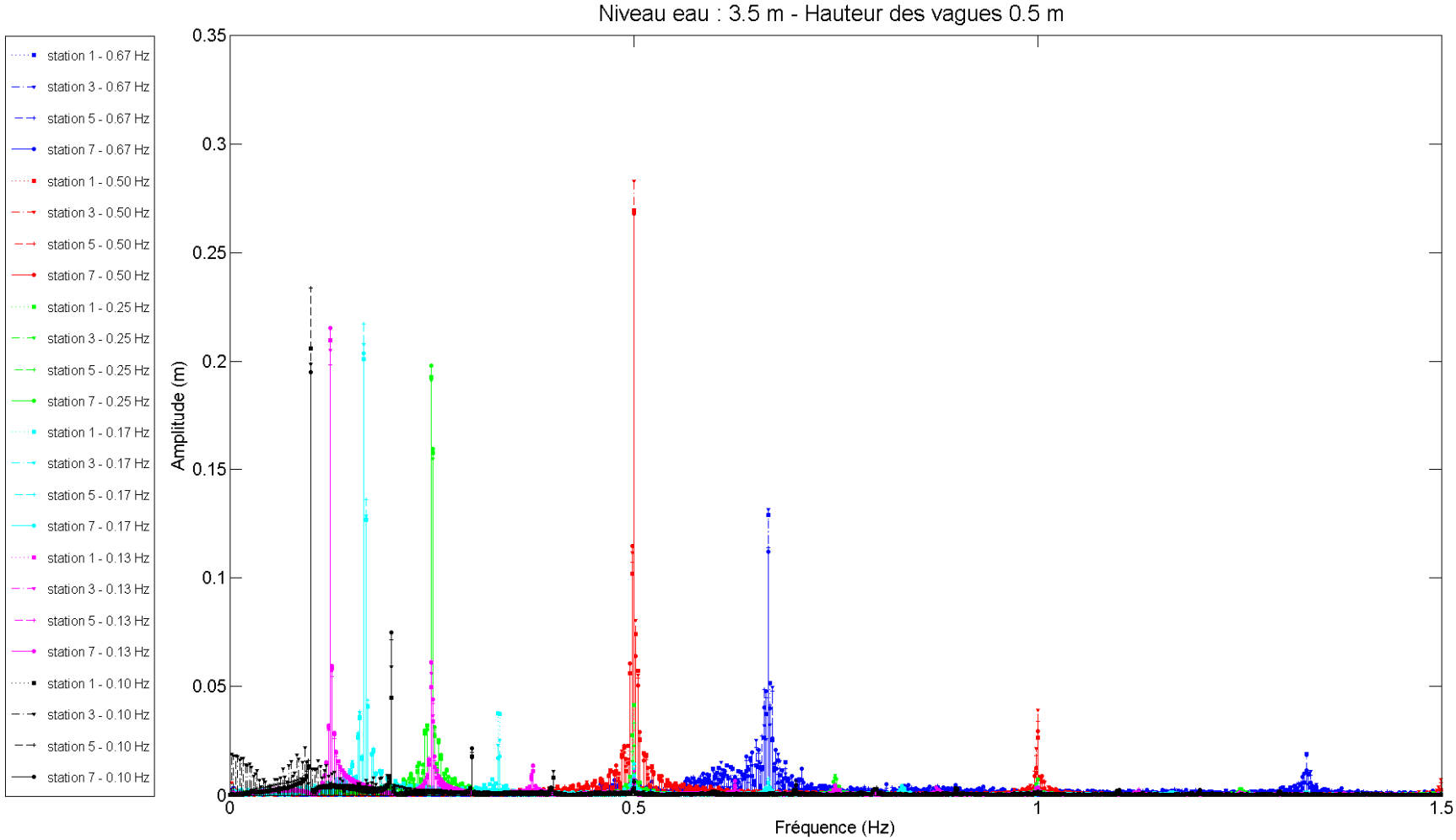


Figure 204. Transformée de Fourier : Résultats de l'analyse spectrale pour une profondeur d'eau de 3,5 m et une hauteur de vague de 0,5 m en fonction des différentes périodes de 1,5 s (0,67 Hz), 4 s (0,25 Hz), 6 s (0,17 Hz), 8 s (0,13 Hz) et 10 s (0,10Hz) pour les quatre stations d'échantillonnage du canal

Période de 1,5 secondes:

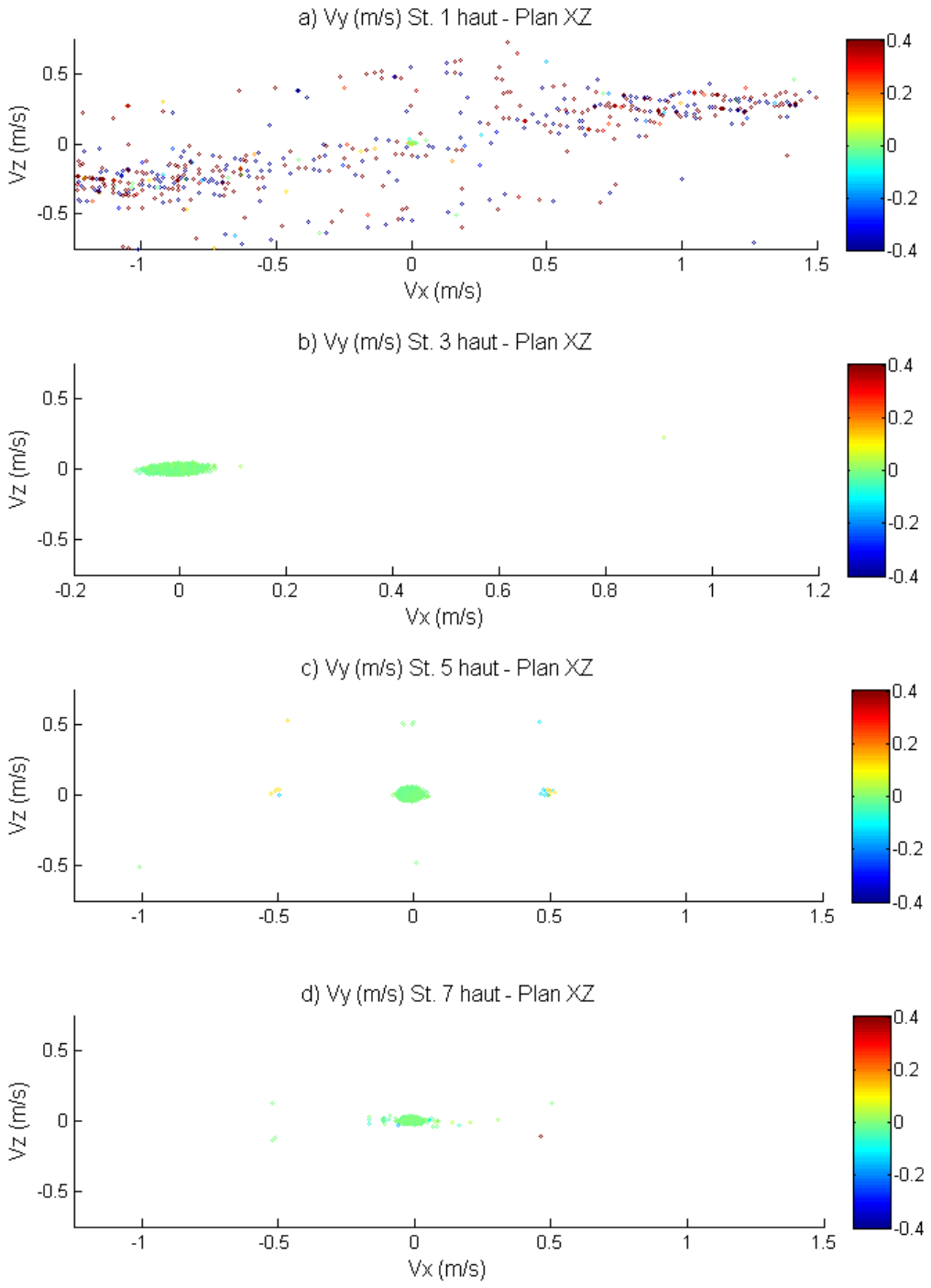


Figure 205. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino I situés en haut des quatre stations (a, b, c et d) pour une profondeur (d) de 3,5 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 1,5 s (N=2000)

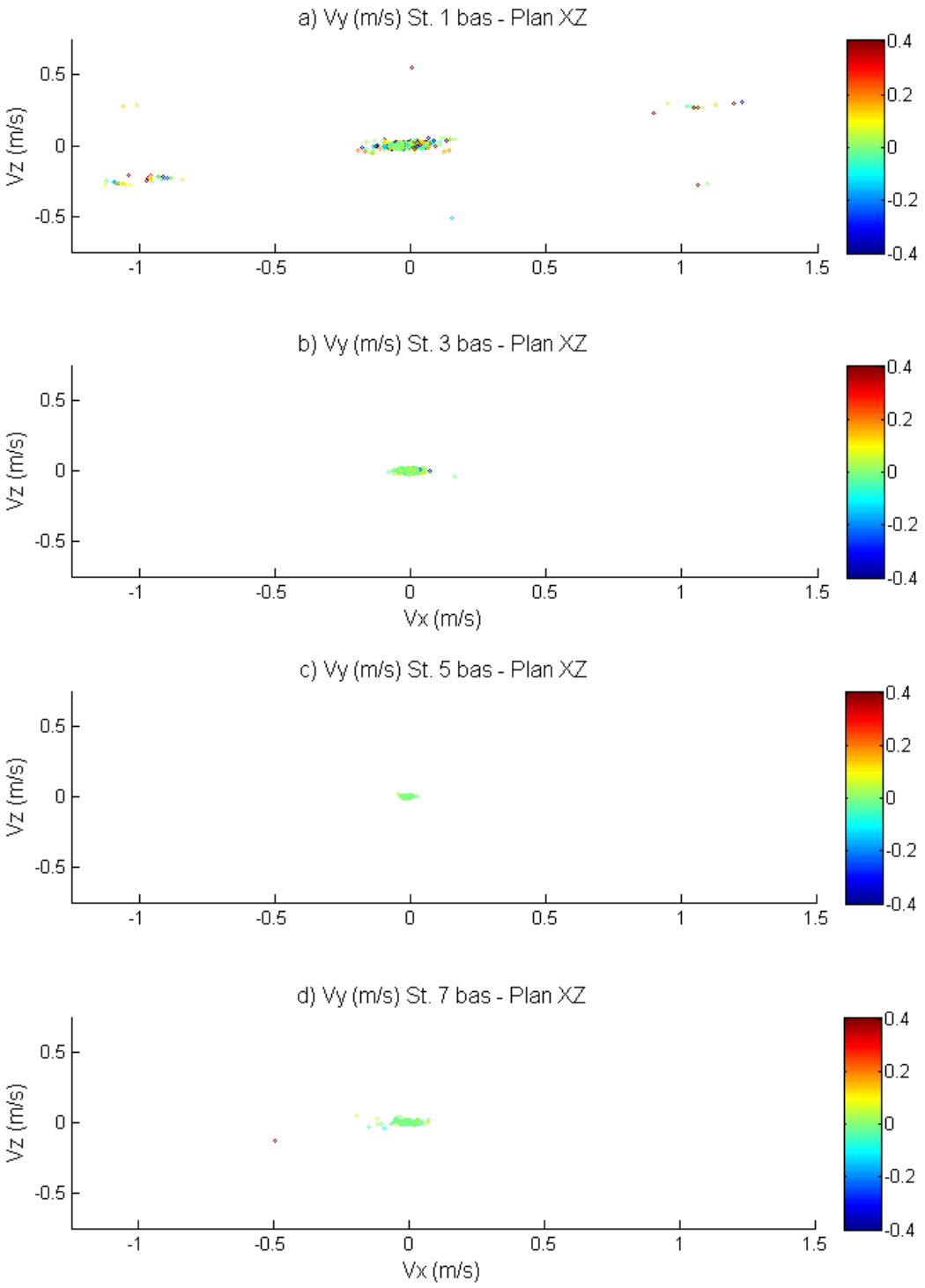


Figure 206. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino I situés au bas des quatre stations (a, b, c et d) pour une profondeur (d) de 3,5 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 1,5 s (N=2000)

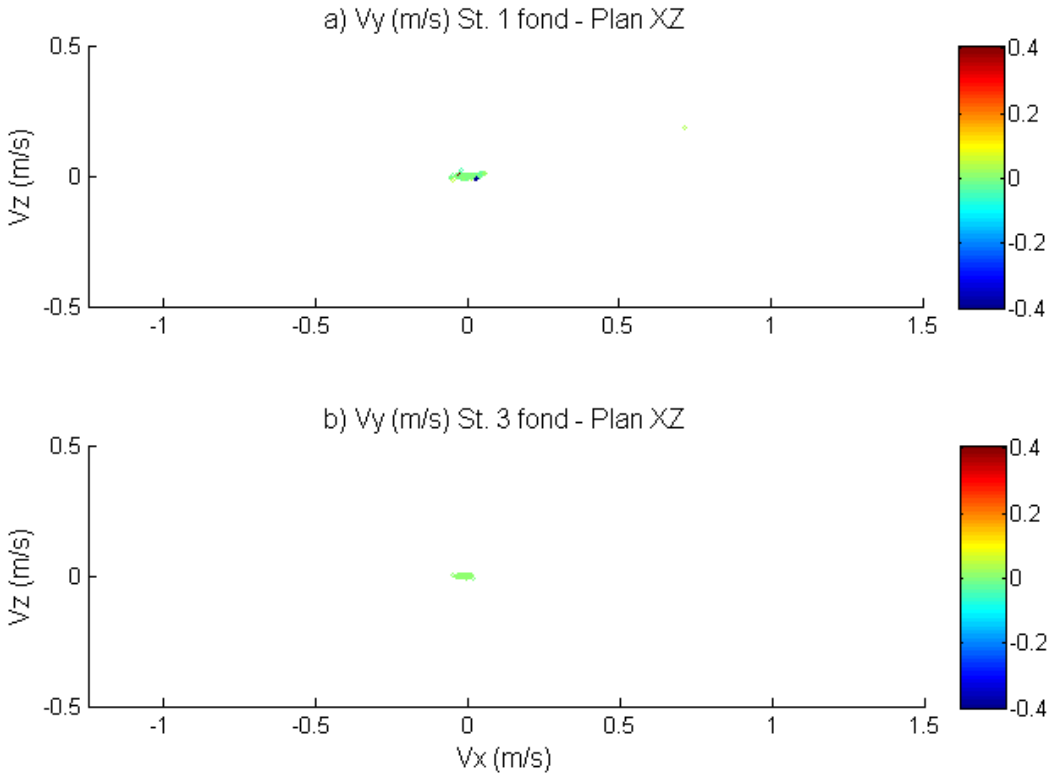


Figure 207. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino II situés au fond du canal aux stations a) 1 et b) 3 pour une profondeur (d) de 3,5 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 1,5 s (N=500)

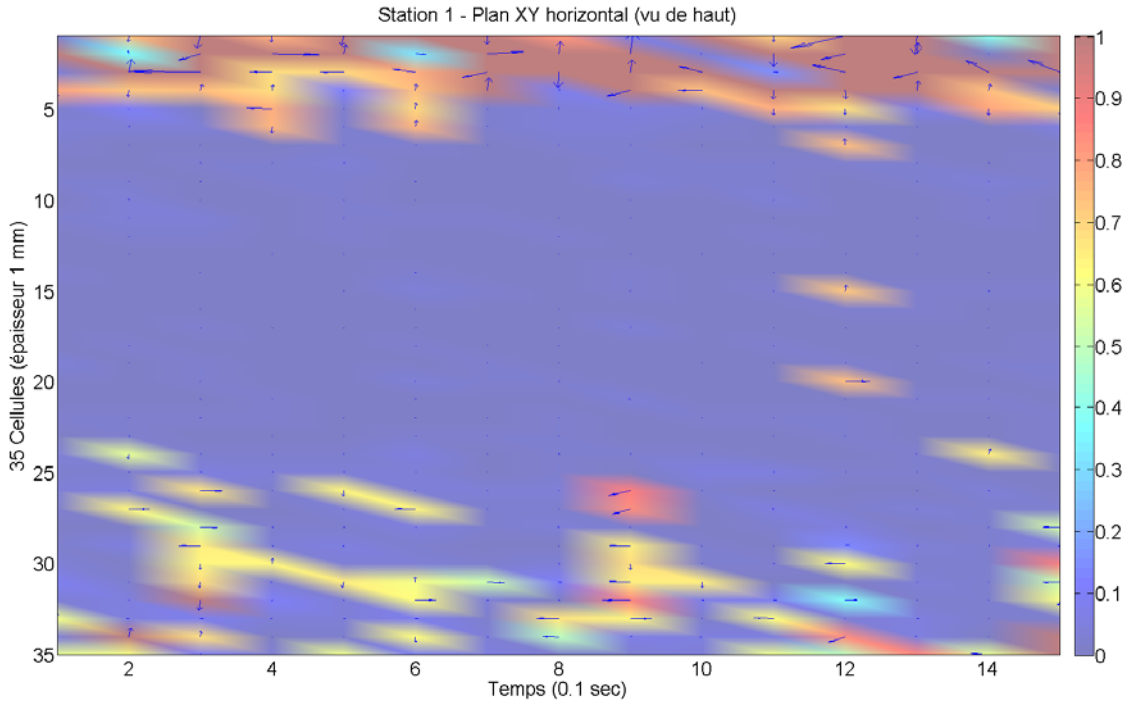


Figure 208. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XY) à la station 1 pour une profondeur (d) de 3,5 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 1,5 s (n = 900 à 914)

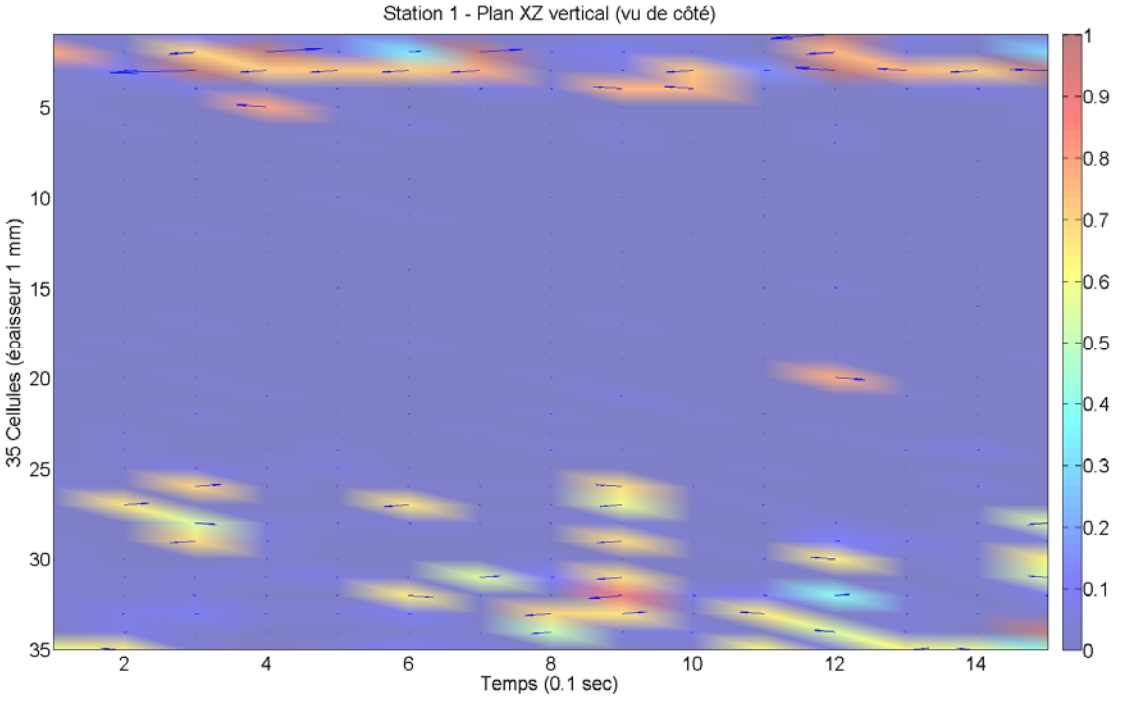


Figure 209. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XZ) à la station 1 pour une profondeur (d) de 3,5 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 1,5 s (n = 900 à 914)

Note: Le bruit est beaucoup plus grand que la mesure qui est de faible amplitude (flèches proportionnelles)

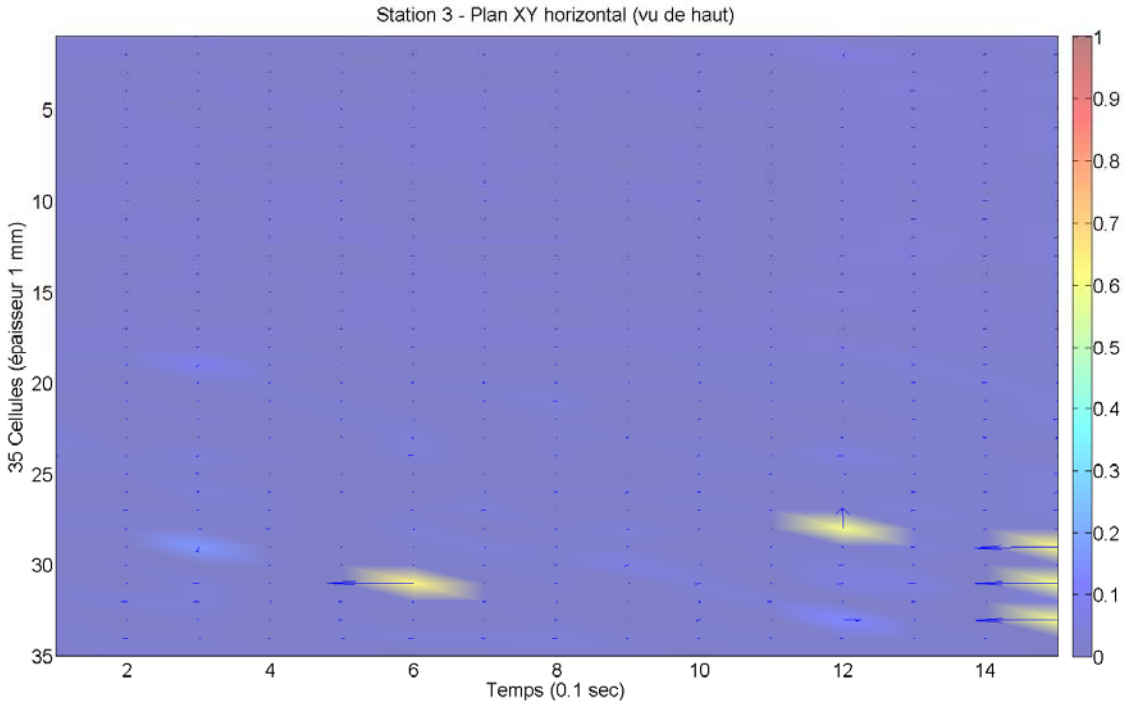


Figure 210. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XY) à la station 3 pour une profondeur (d) de 3,5 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 1,5 s (n = 950 à 964)

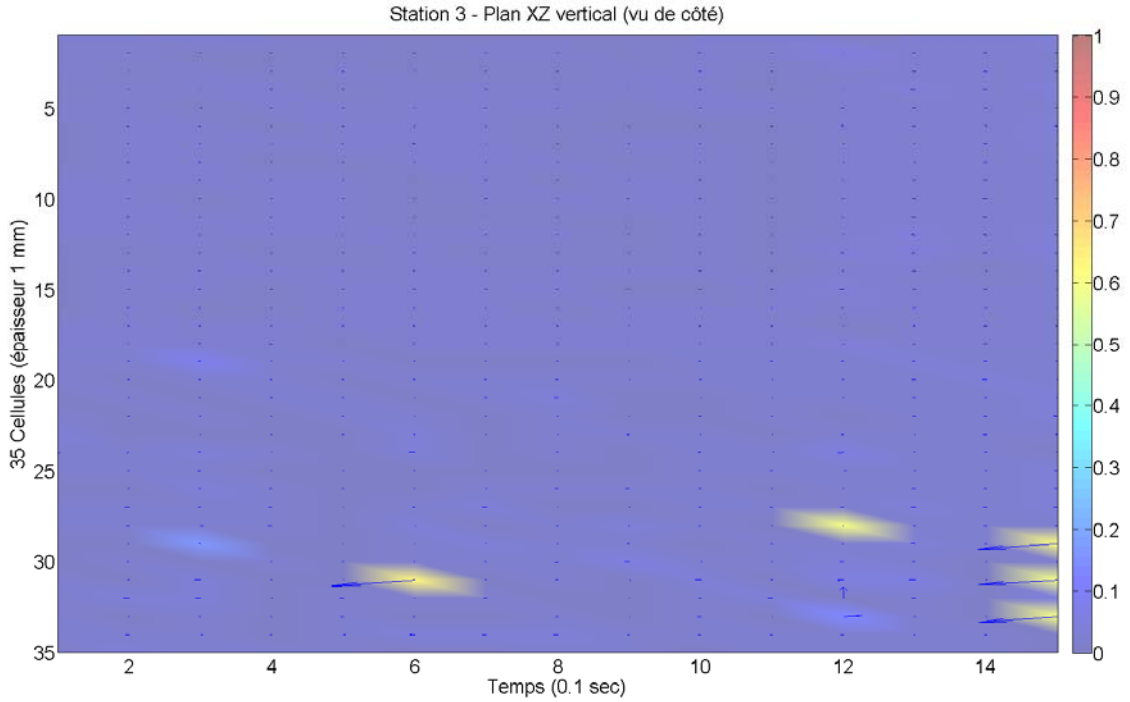


Figure 211. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XZ) à la station 3 pour une profondeur (d) de 3,5 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 1,5 s (n = 950 à 964)

Période de 2 secondes:

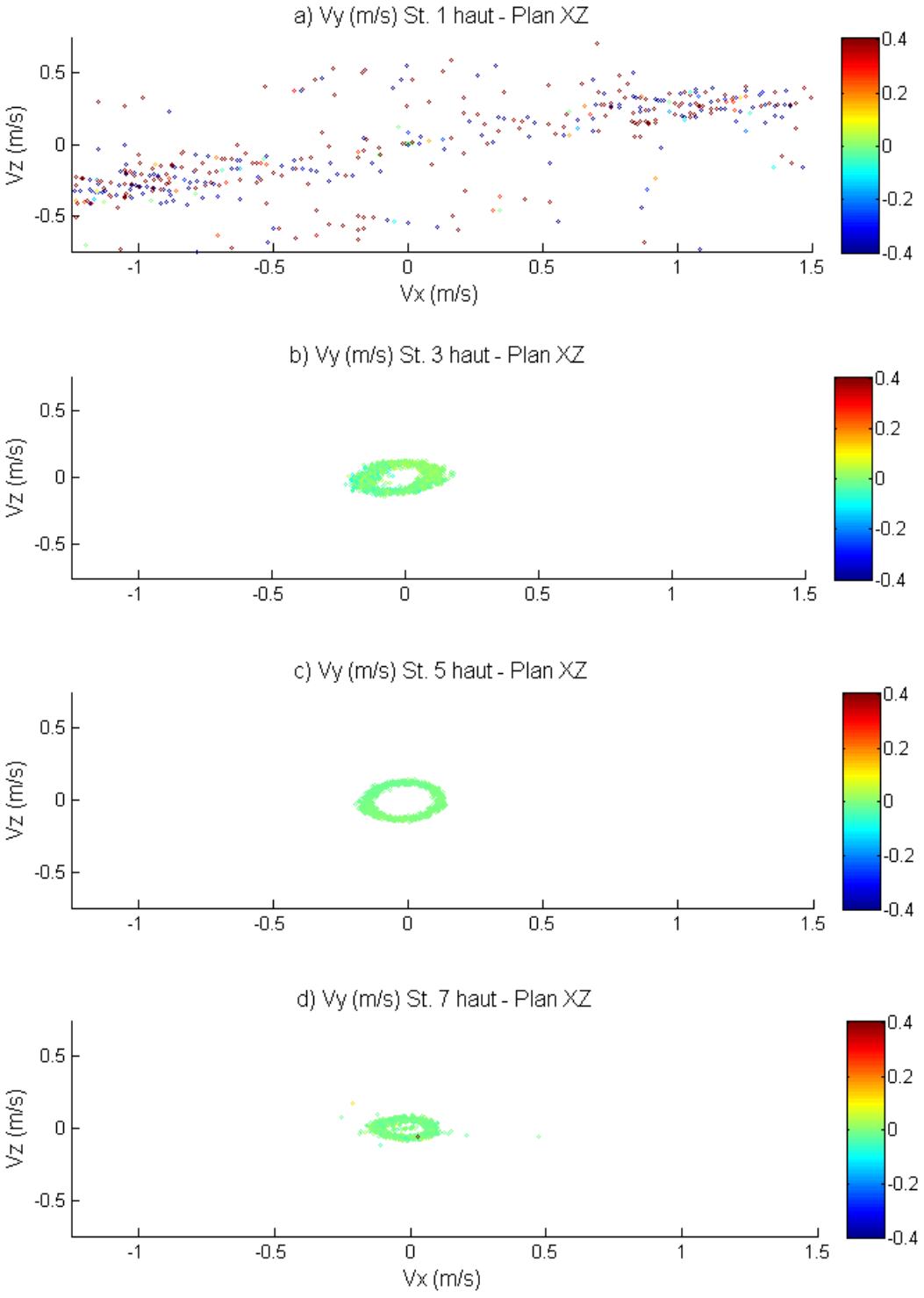


Figure 212. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino I situés en haut des quatre stations (a, b, c et d) pour une profondeur (d) de 3,5 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 2 s (N=1500)

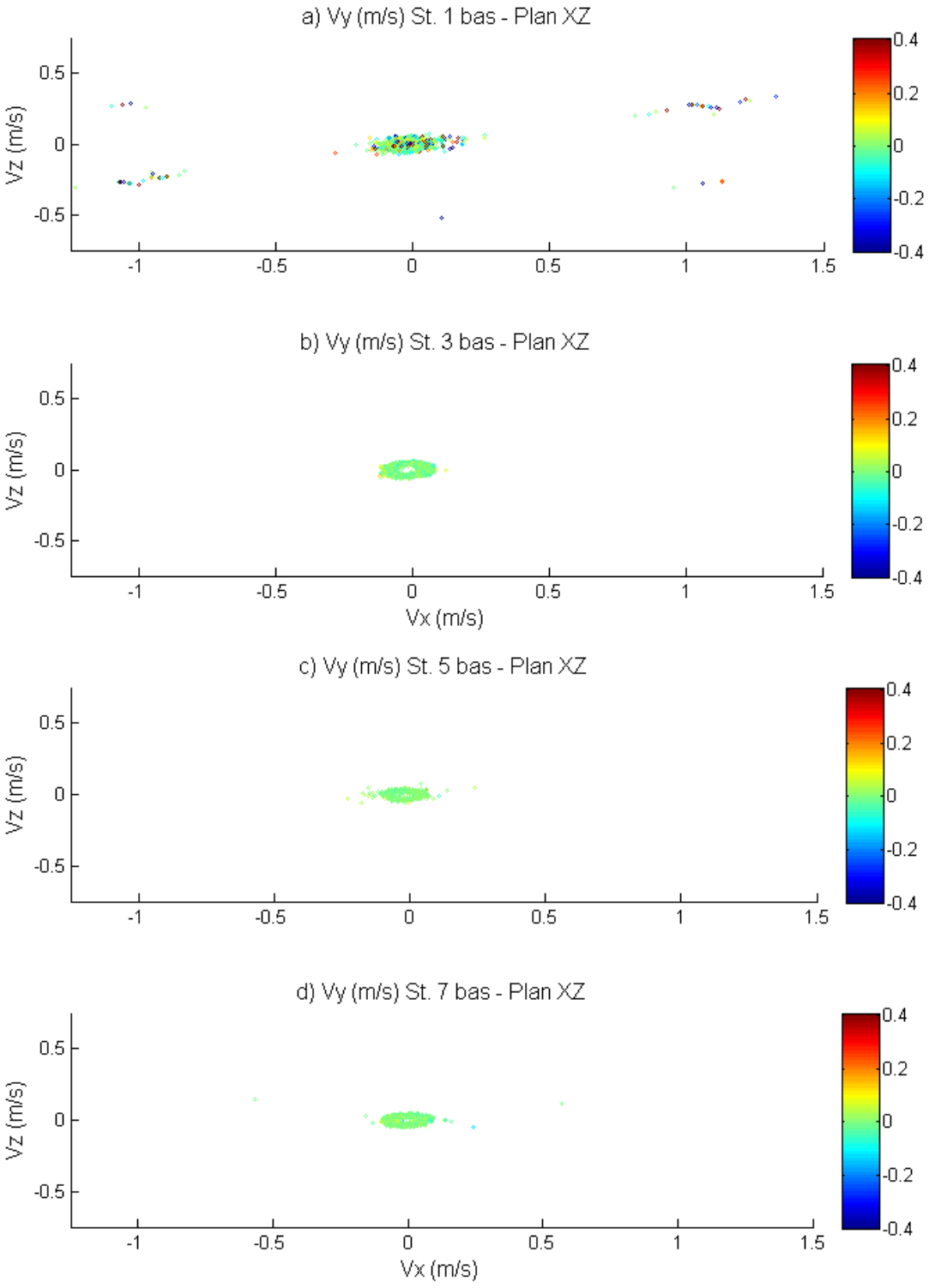


Figure 213. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino I situés au bas des quatre stations (a, b, c et d) pour une profondeur (d) de 3,5 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 2 s (N=1500)

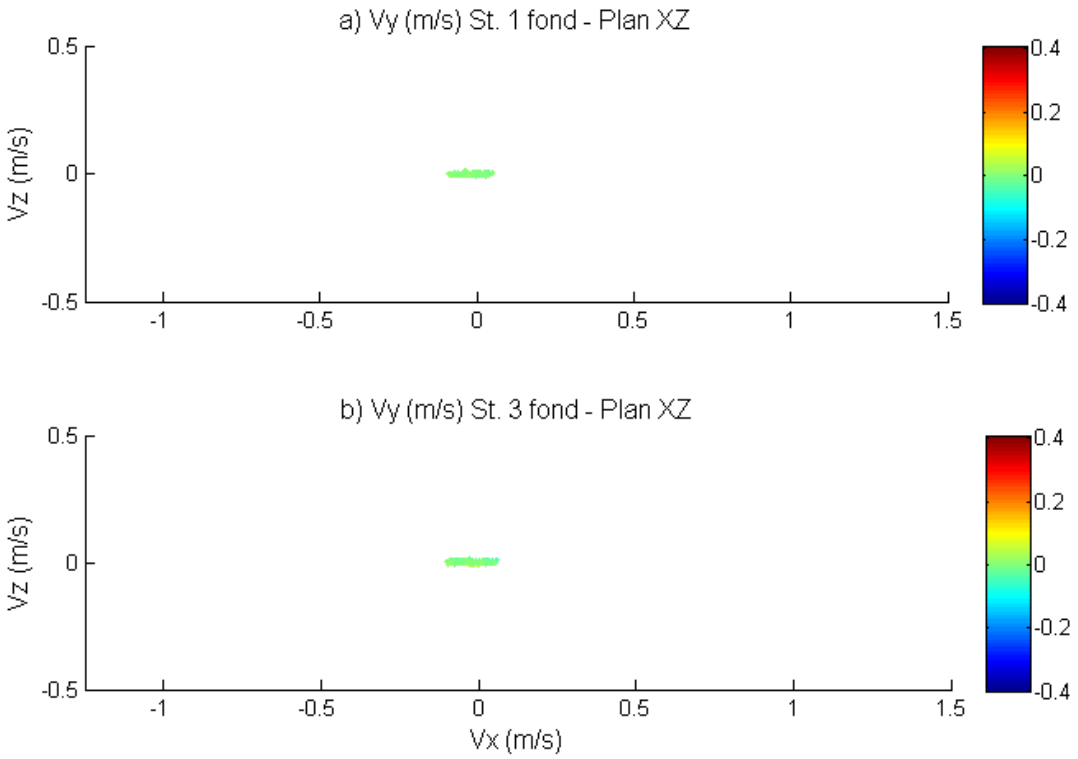


Figure 214. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino II situés au fond du canal aux stations a) 1 et b) 3 pour une profondeur (d) de 3,5 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 2 s (N=3000) (points en dehors de l'étendue montrée).

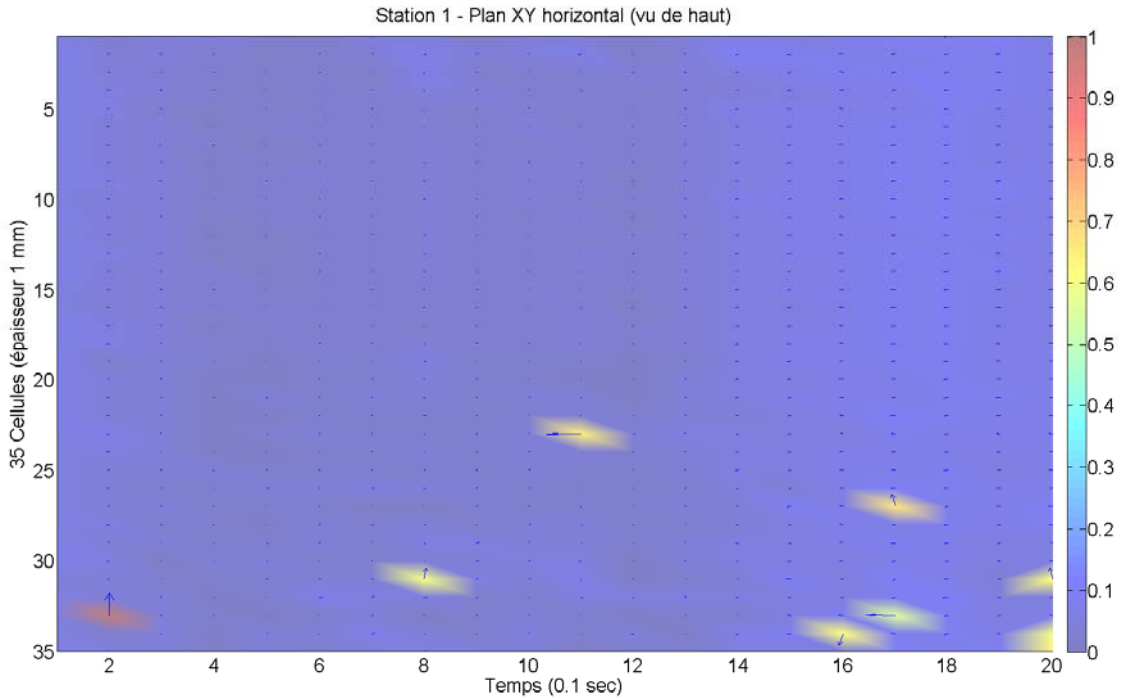


Figure 215. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XY) à la station 1 pour une profondeur (d) de 3,5 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 2 s (n = 3750 à 3769)

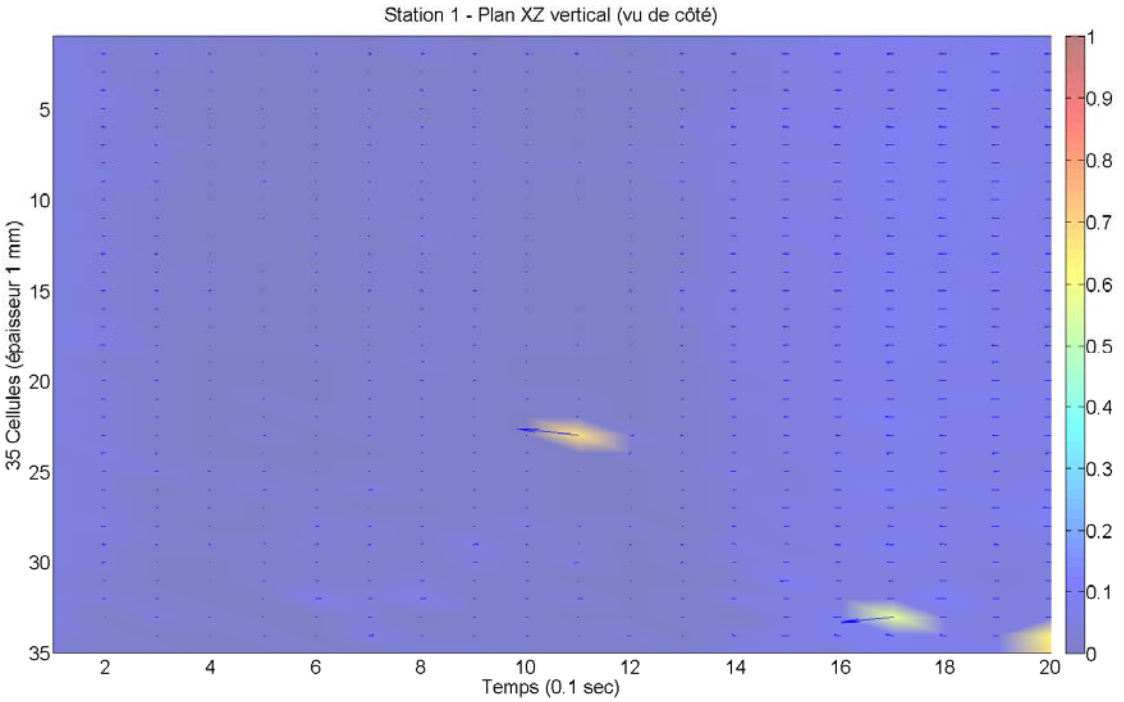


Figure 216. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XZ) à la station 1 pour une profondeur (d) de 3,5 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 2 s (n = 3750 à 3769)

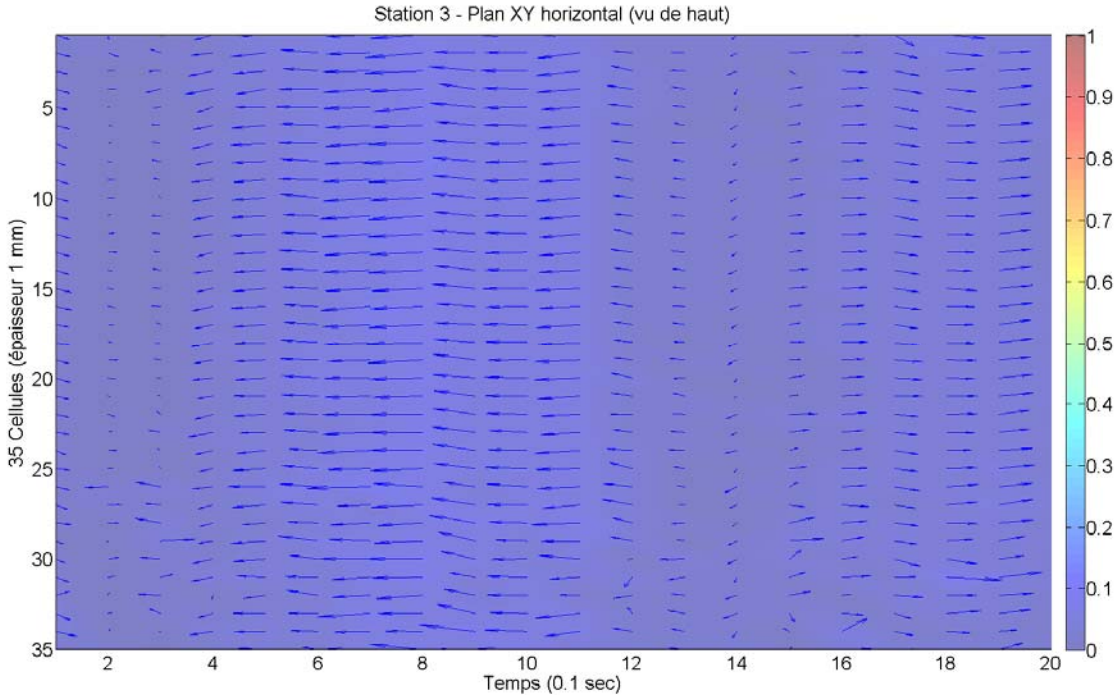


Figure 217. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XY) à la station 3 pour une profondeur (d) de 3,5 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 2 s (n = 3800 à 3819)

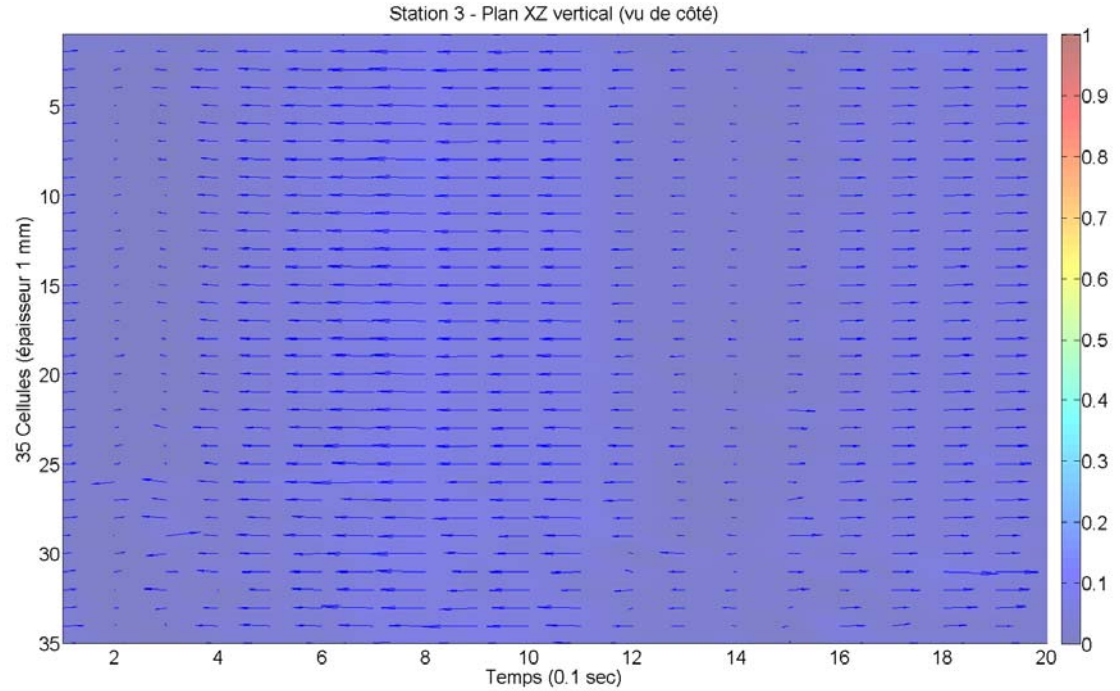


Figure 218. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XZ) à la station 3 pour une profondeur (d) de 3,5 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 2 s (n = 3800 à 3819)

Période de 4 secondes:

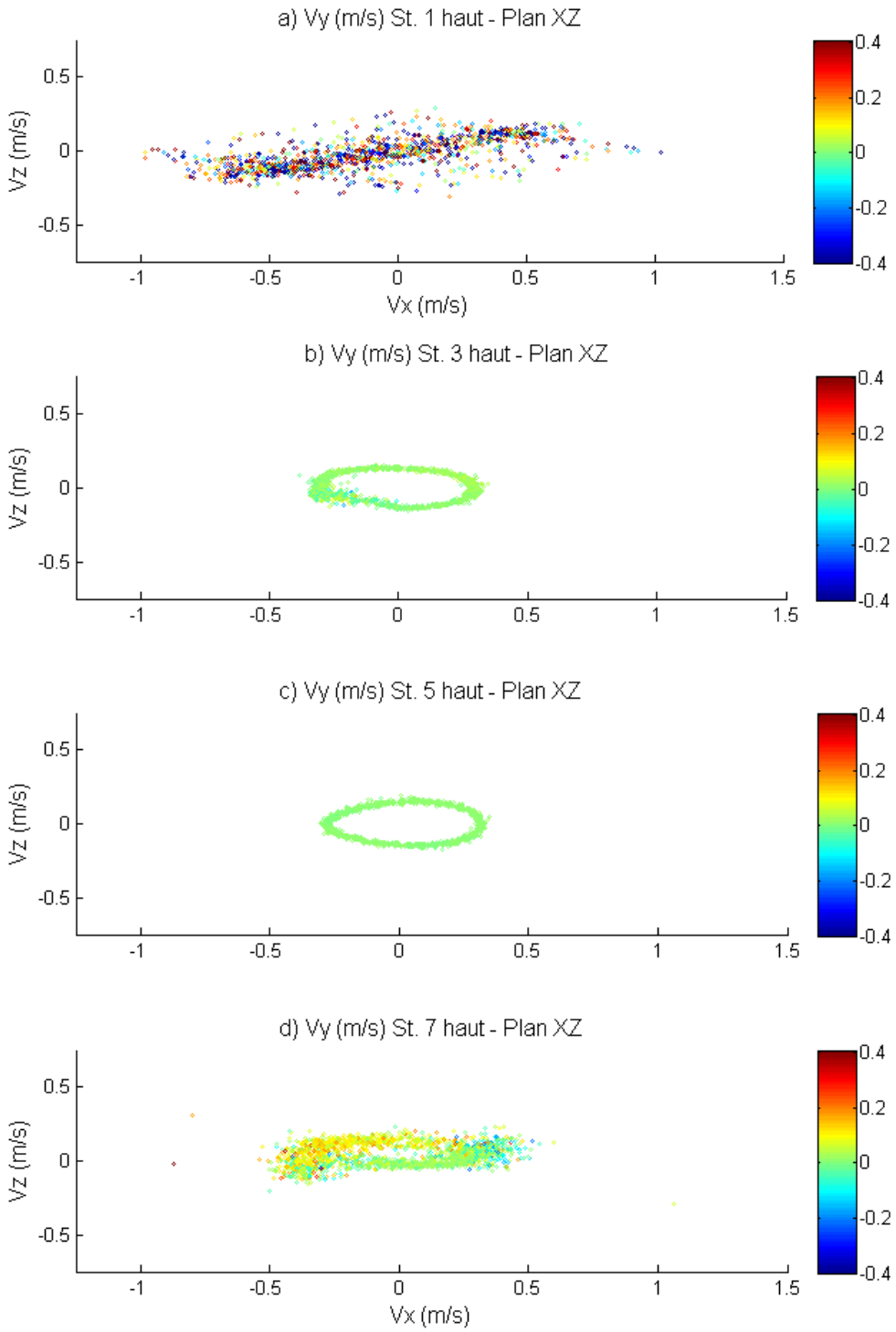


Figure 219. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino I situés en haut des quatre stations (a, b, c et d) pour une profondeur (d) de 3,5 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 4 s (N=2000)

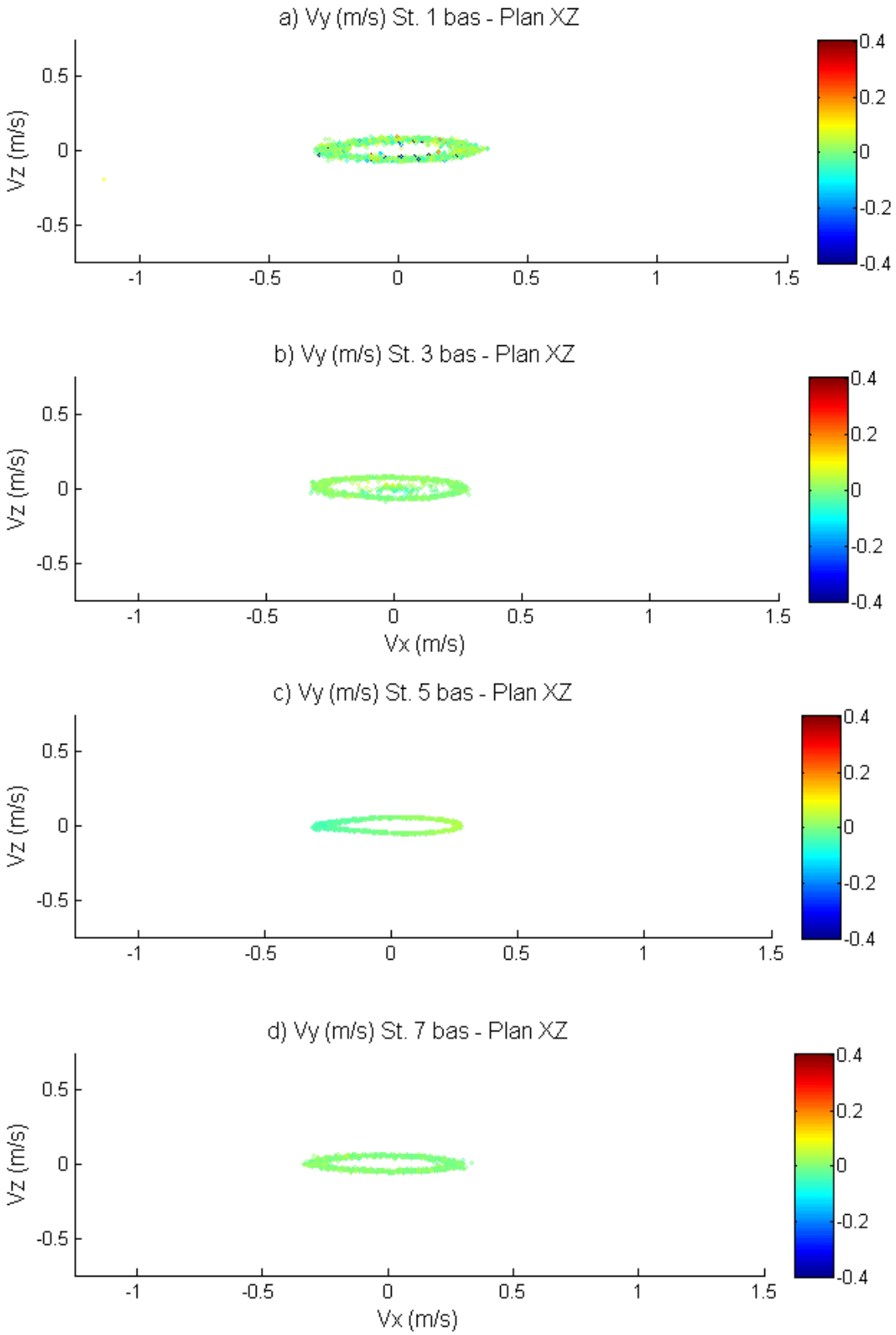


Figure 220. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino I situés au bas des quatre stations (a, b, c et d) pour une profondeur (d) de 3,5 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 4 s (N=2000)

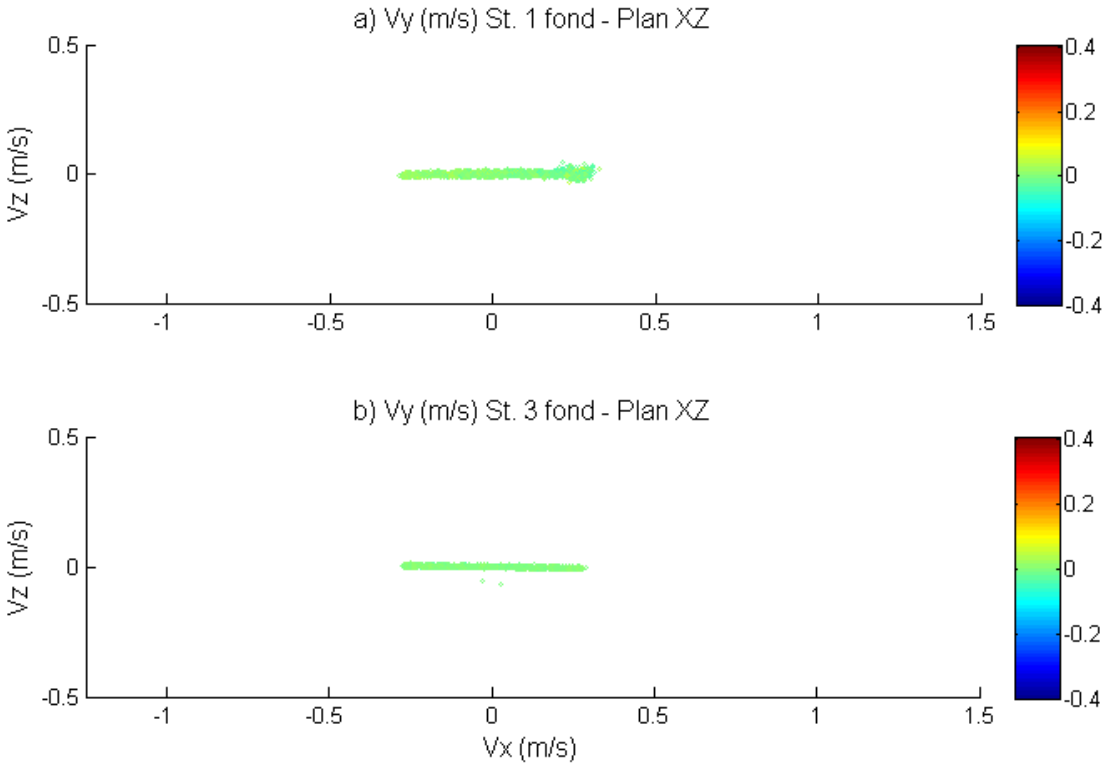


Figure 221. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino II situés au fond du canal aux stations a) 1 et b) 3 pour une profondeur (d) de 3,5 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 4 s (N=3000)

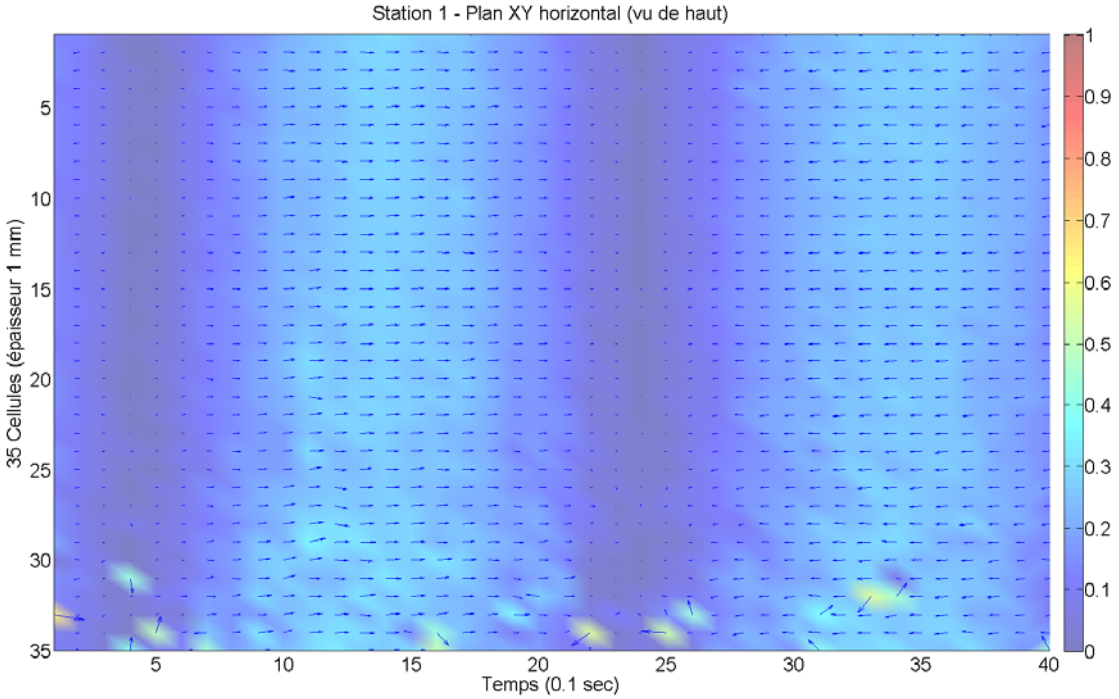


Figure 222. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XY) à la station 1 pour une profondeur (d) de 3,5 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 4 s (n = 2300 à 2339)

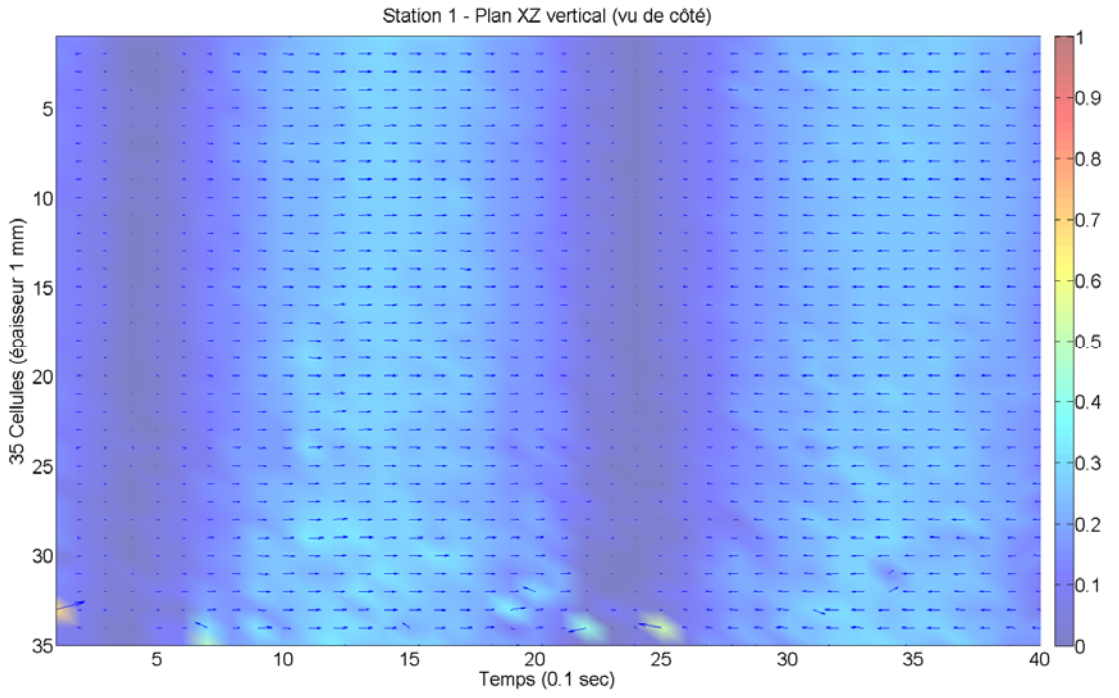


Figure 223. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XZ) à la station 1 pour une profondeur (d) de 3,5 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 4 s (n = 2300 à 2339)

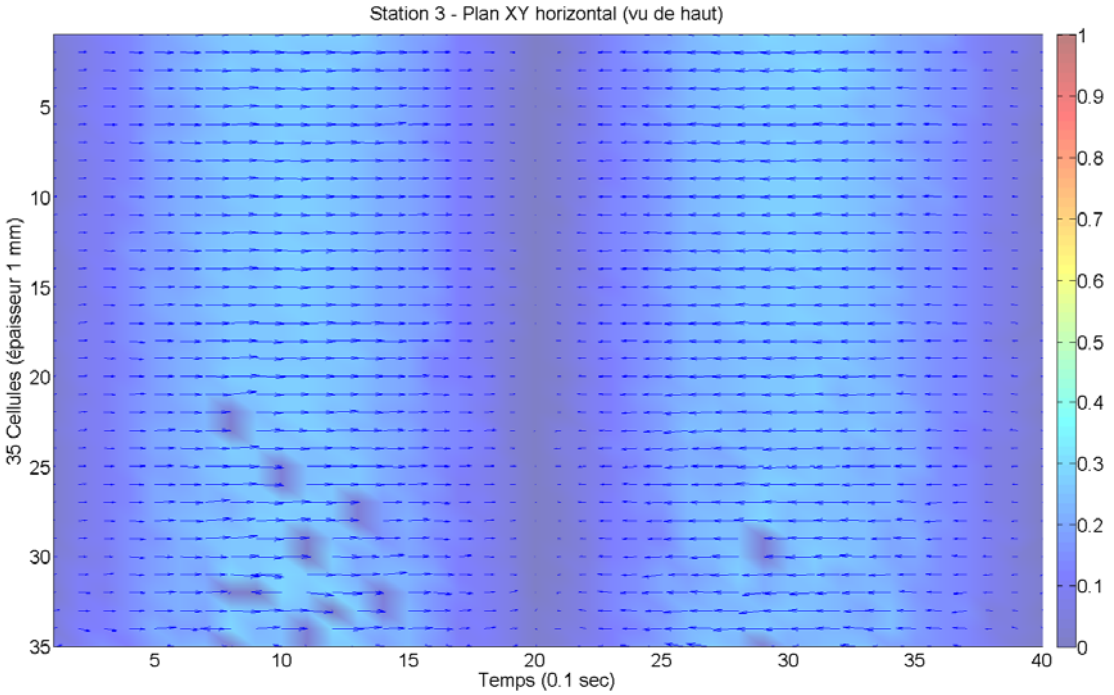


Figure 224. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XY) à la station 3 pour une profondeur (d) de 3,5 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 4 s (n = 2360 à 2399)

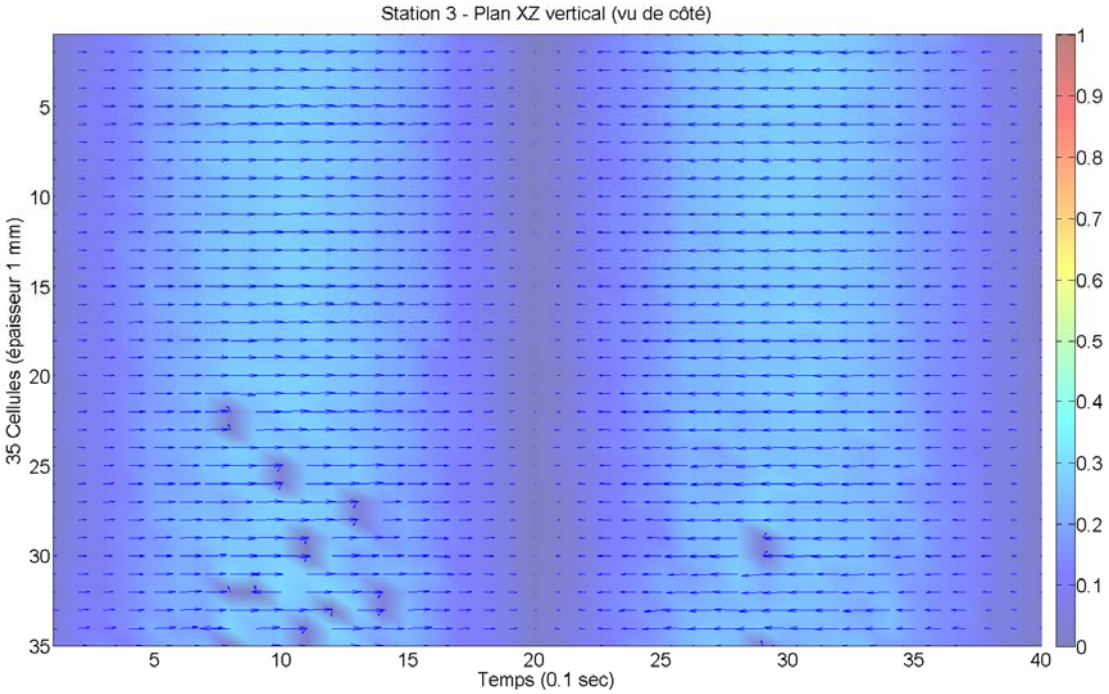


Figure 225. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XZ) à la station 3 pour une profondeur (d) de 3,5 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 4 s (n = 2360 à 2399)

Période de 6 secondes:

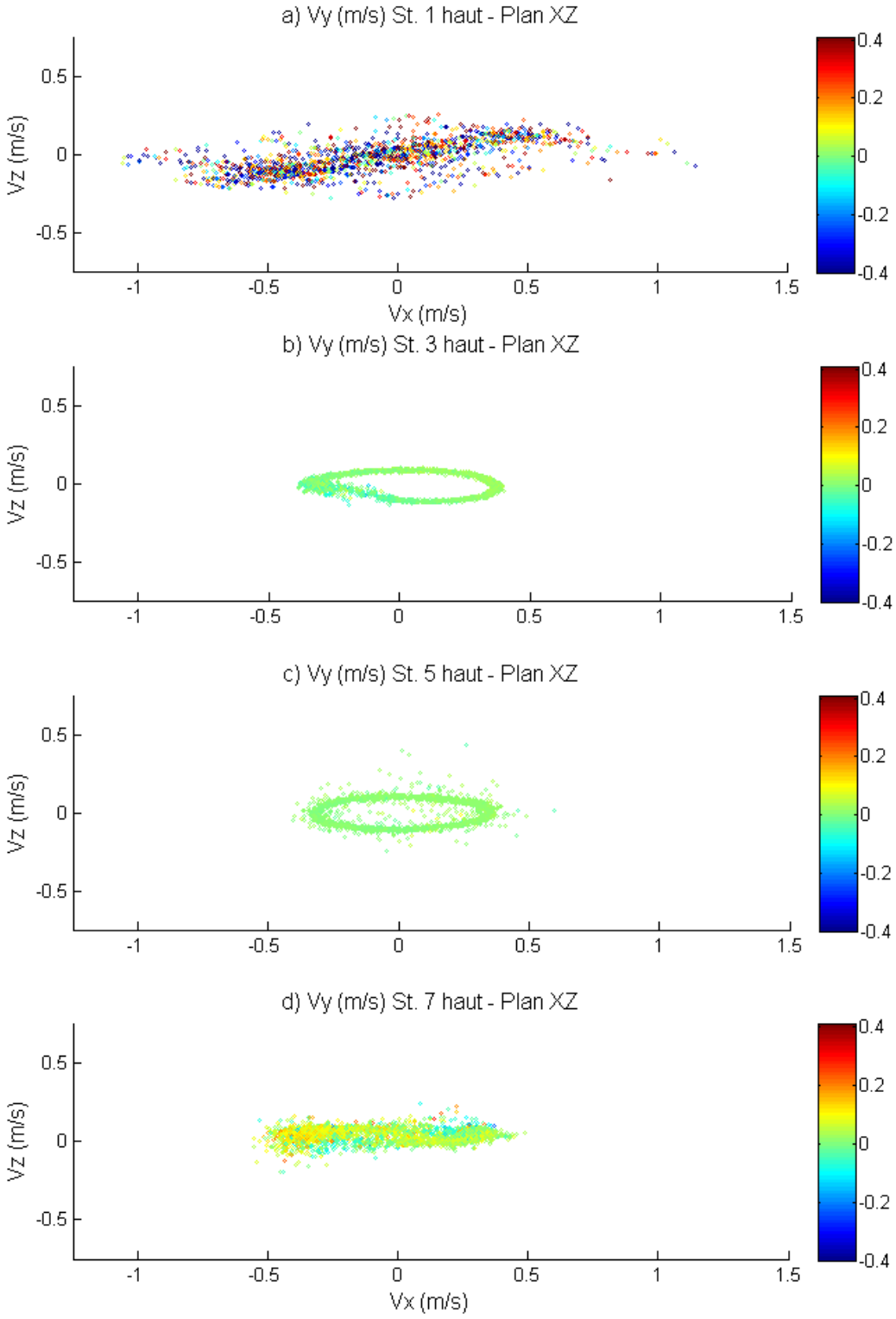


Figure 226. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino I situés en haut des quatre stations (a, b, c et d) pour une profondeur (d) de 3,5 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 6 s (N=2500)

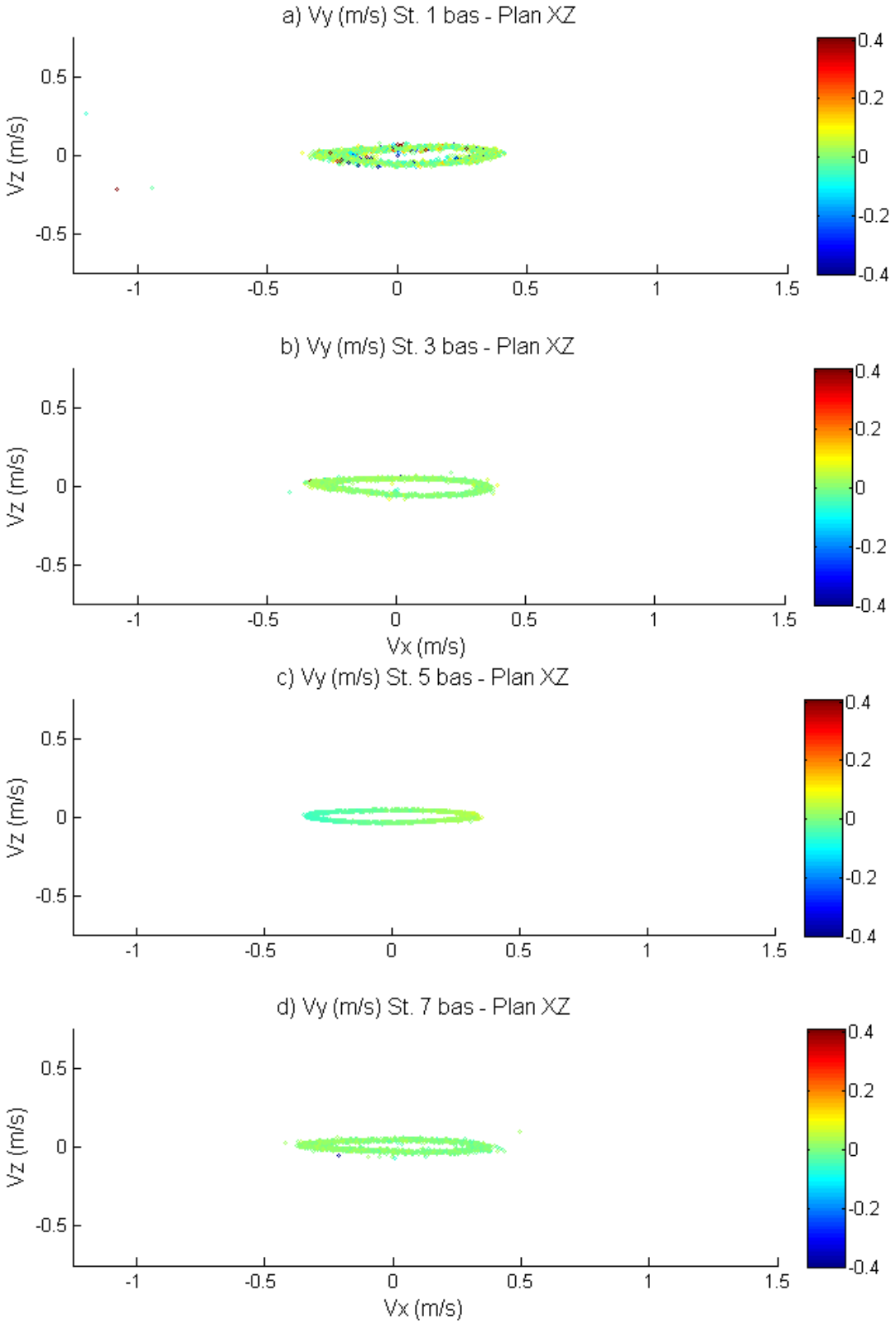


Figure 227. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino I situés au bas des quatre stations (a, b, c et d) pour une profondeur (d) de 3,5 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 6 s (N=2500)

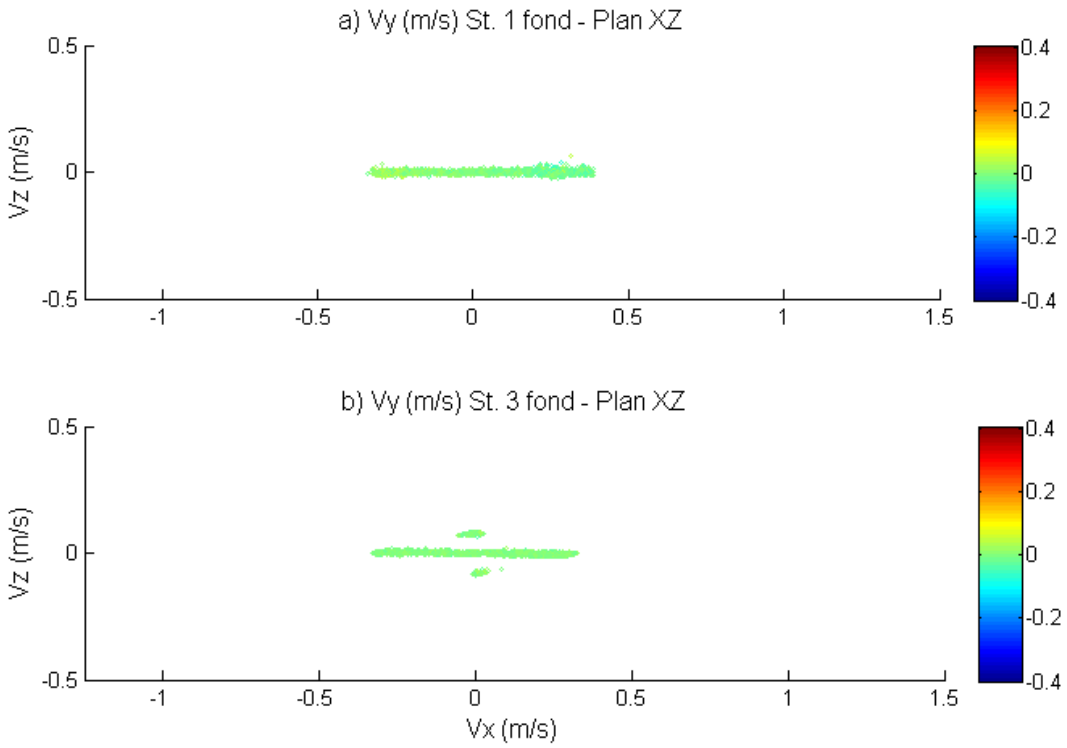


Figure 228. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino II situés au fond du canal aux stations a) 1 et b) 3 pour une profondeur (d) de 3,5 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 6 s (N=3000)

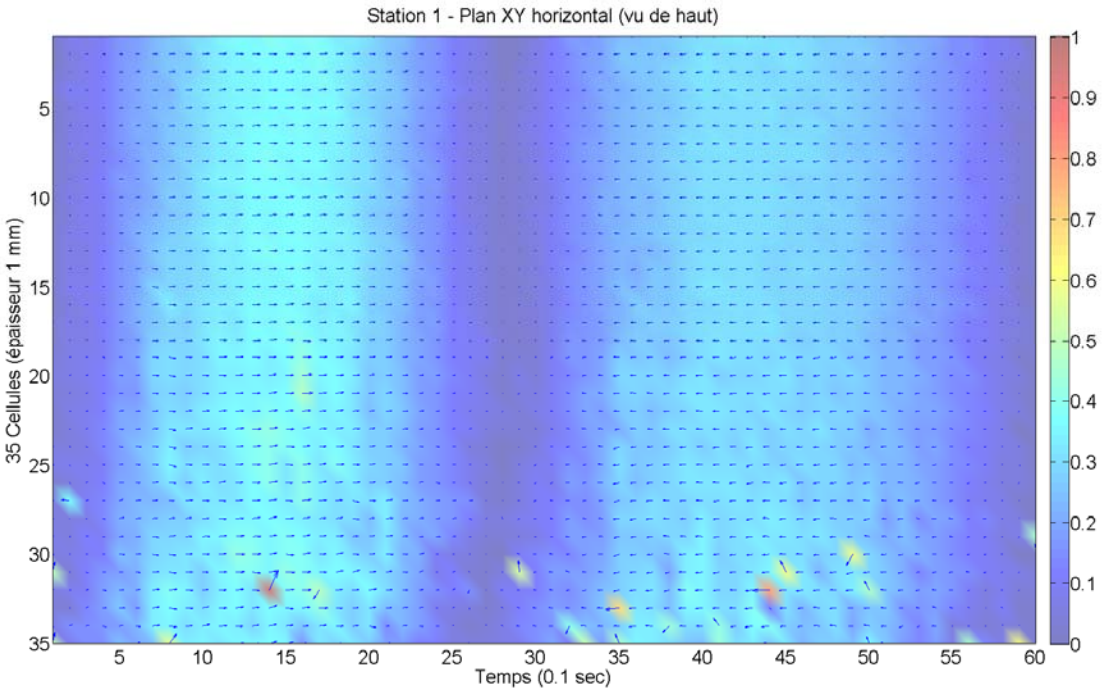


Figure 229. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XY) à la station 1 pour une profondeur (d) de 3,5 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 6 s (n = 2310 à 2349)

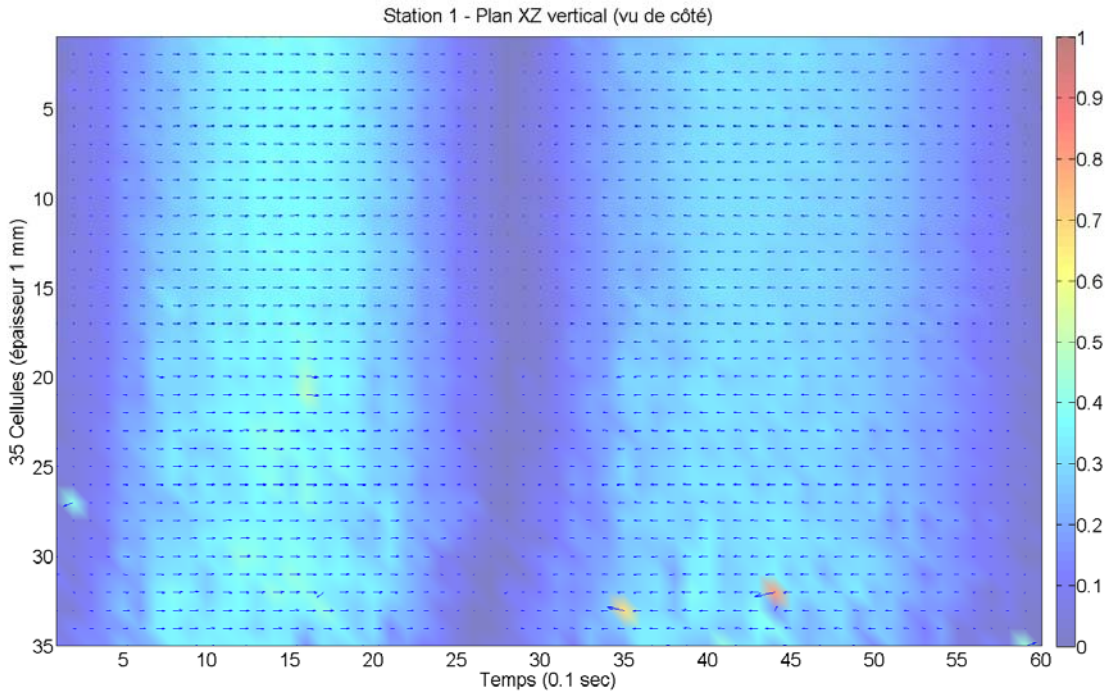


Figure 230. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XZ) à la station 1 pour une profondeur (d) de 3,5 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 6 s (n = 2310 à 2349)

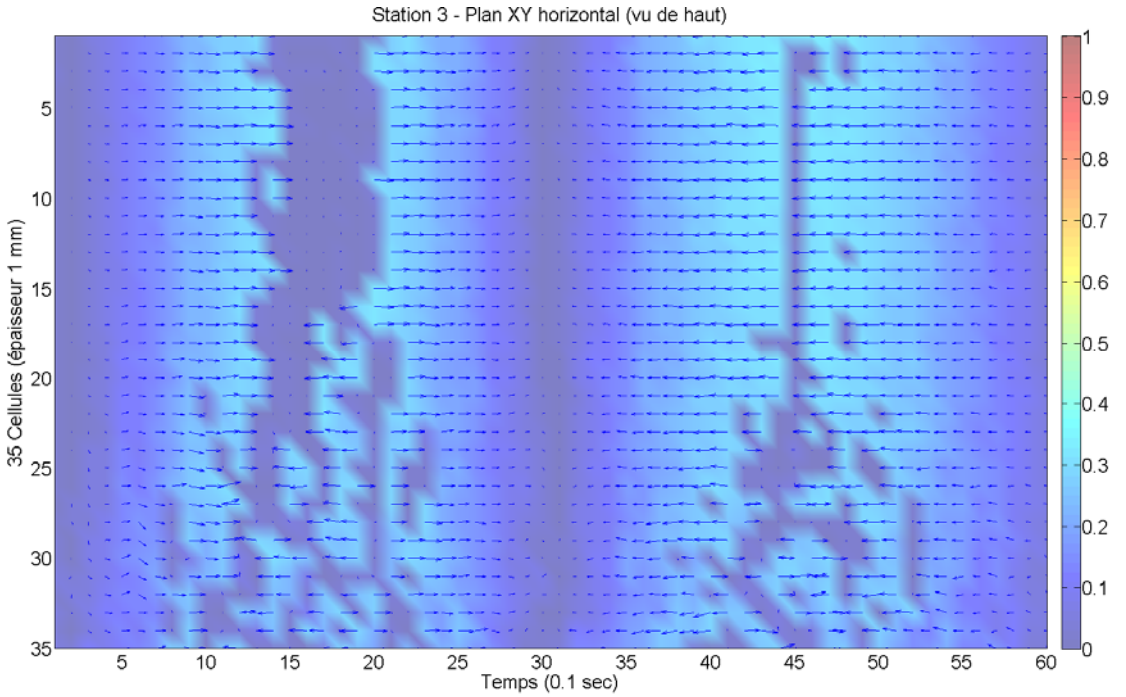


Figure 231. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XY) à la station 3 pour une profondeur (d) de 3,5 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 6 s (n = 2320 à 2359)

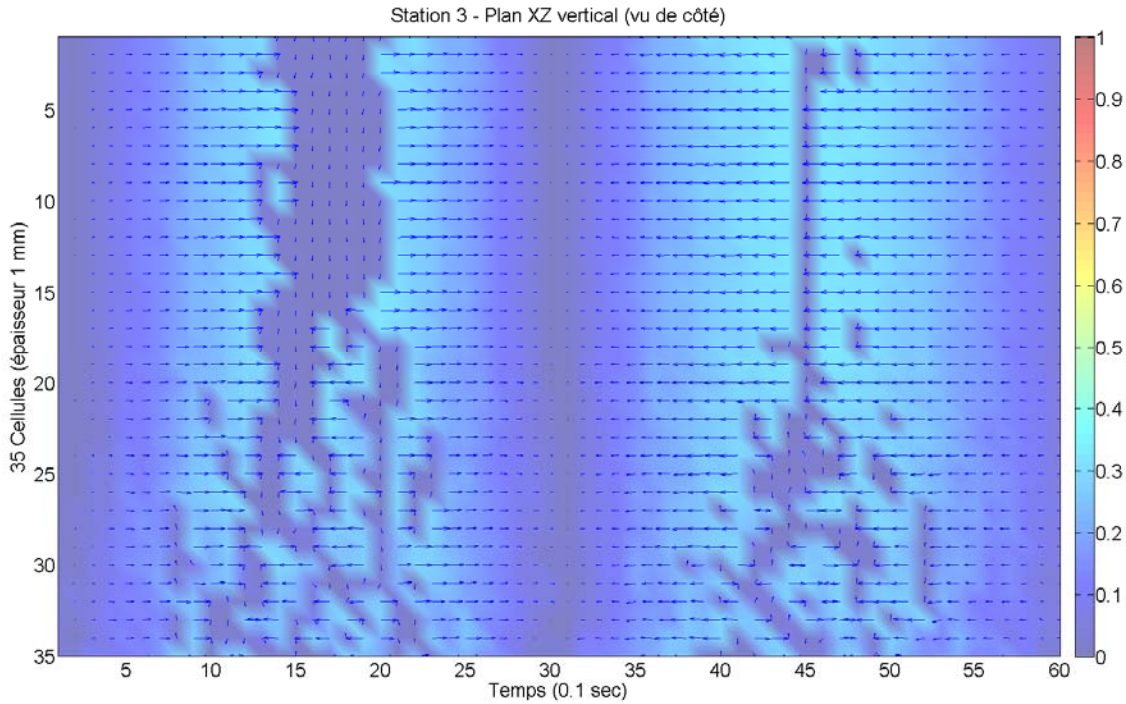


Figure 232. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XZ) à la station 3 pour une profondeur (d) de 3,5 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 6 s (n = 2320 à 2359)

Période de 8 secondes:

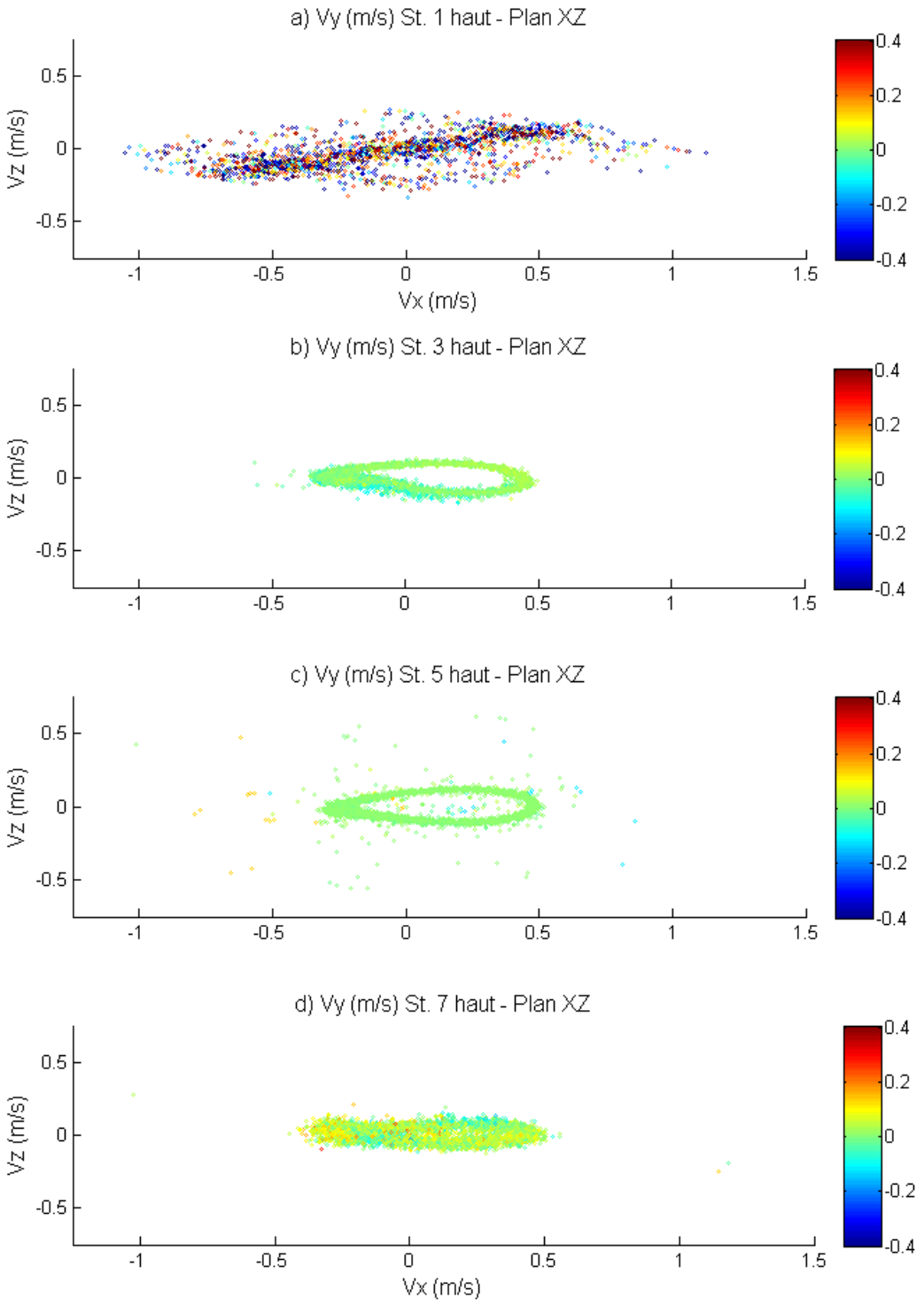


Figure 233. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino I situés en haut des quatre stations (a, b, c et d) pour une profondeur (d) de 3,5 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 8 s (N=2500)

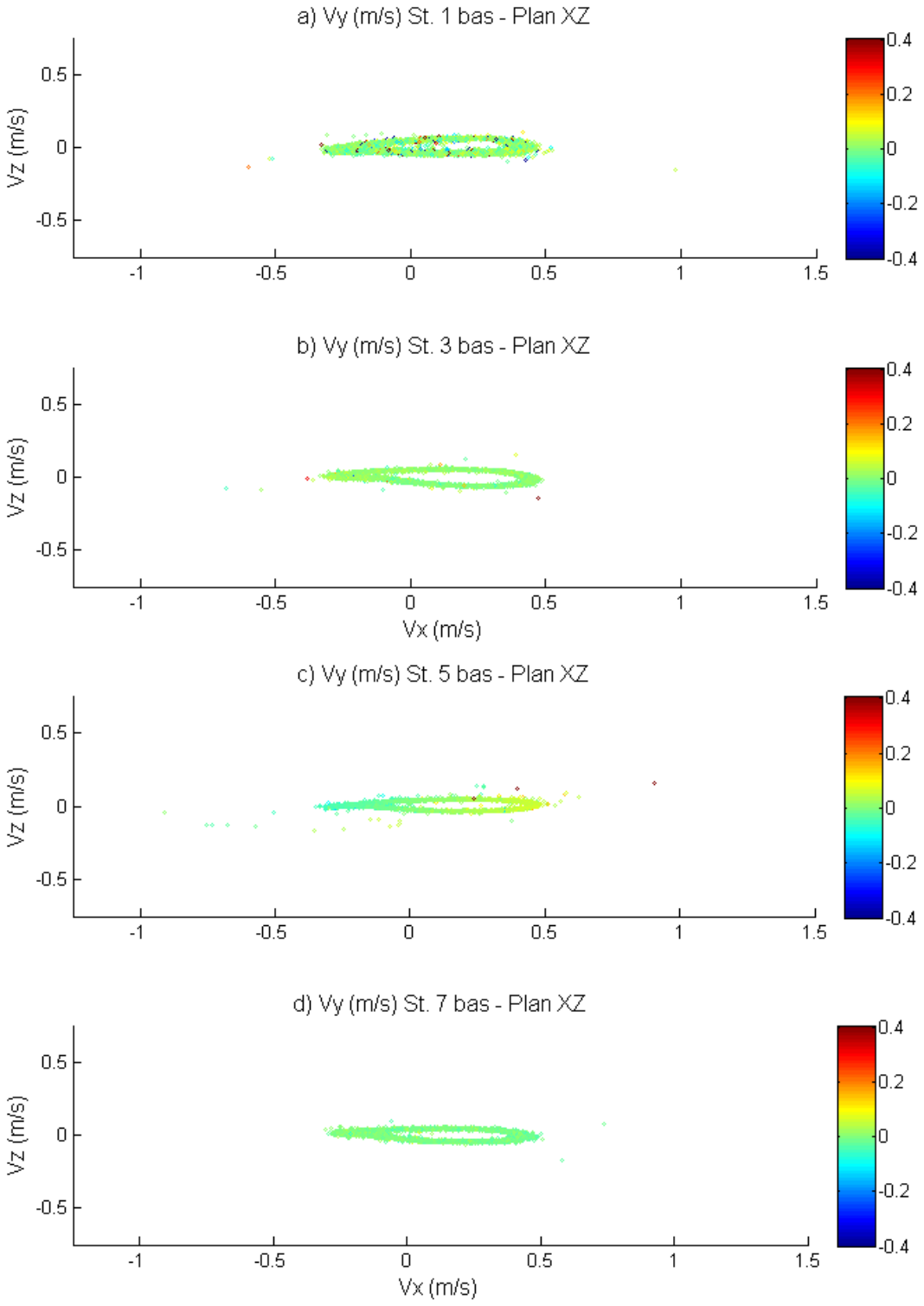


Figure 234. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino I situés au bas des quatre stations (a, b, c et d) pour une profondeur (d) de 3,5 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 8 s (N=2500)

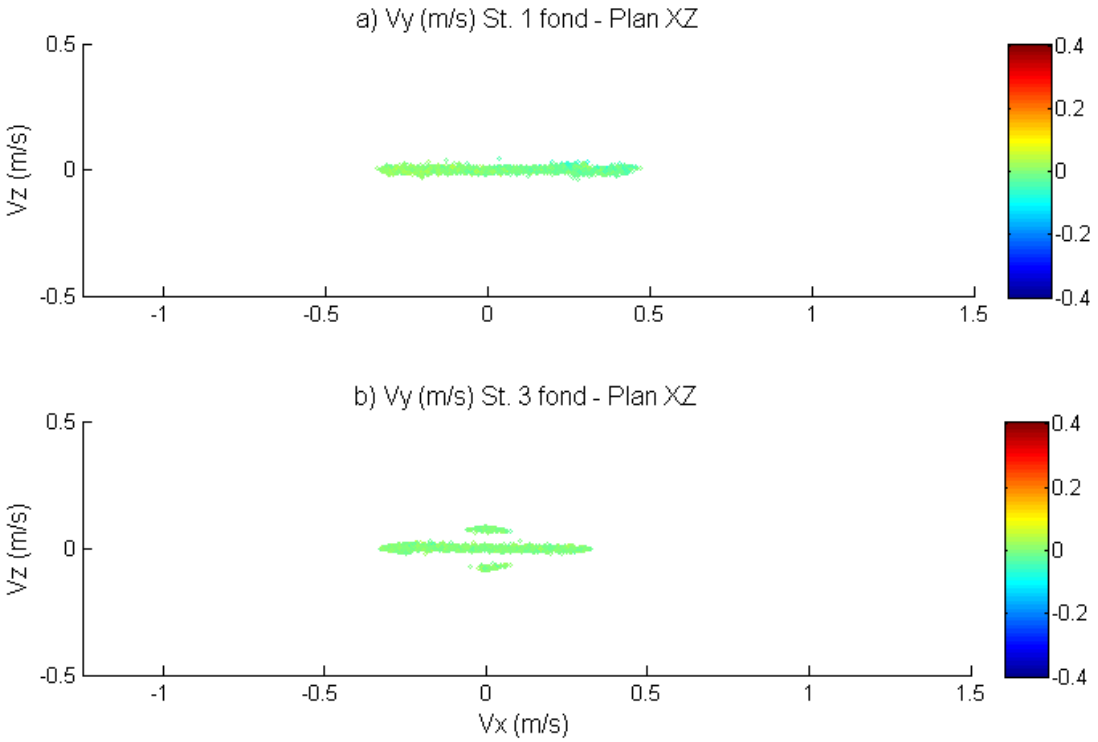


Figure 235. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino II situés au fond du canal aux stations a) 1 et b) 3 pour une profondeur (d) de 3,5 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 8 s (N=3000)

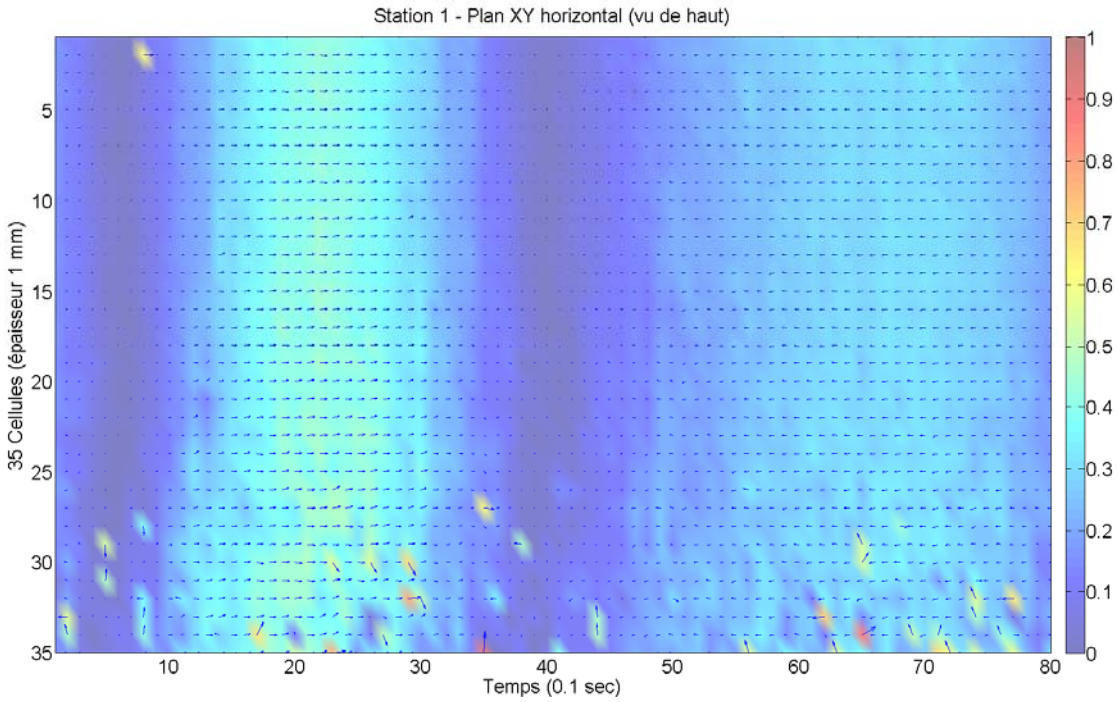


Figure 236. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XY) à la station 1 pour une profondeur (d) de 3,5 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 8 s (n = 2100 à 2179)

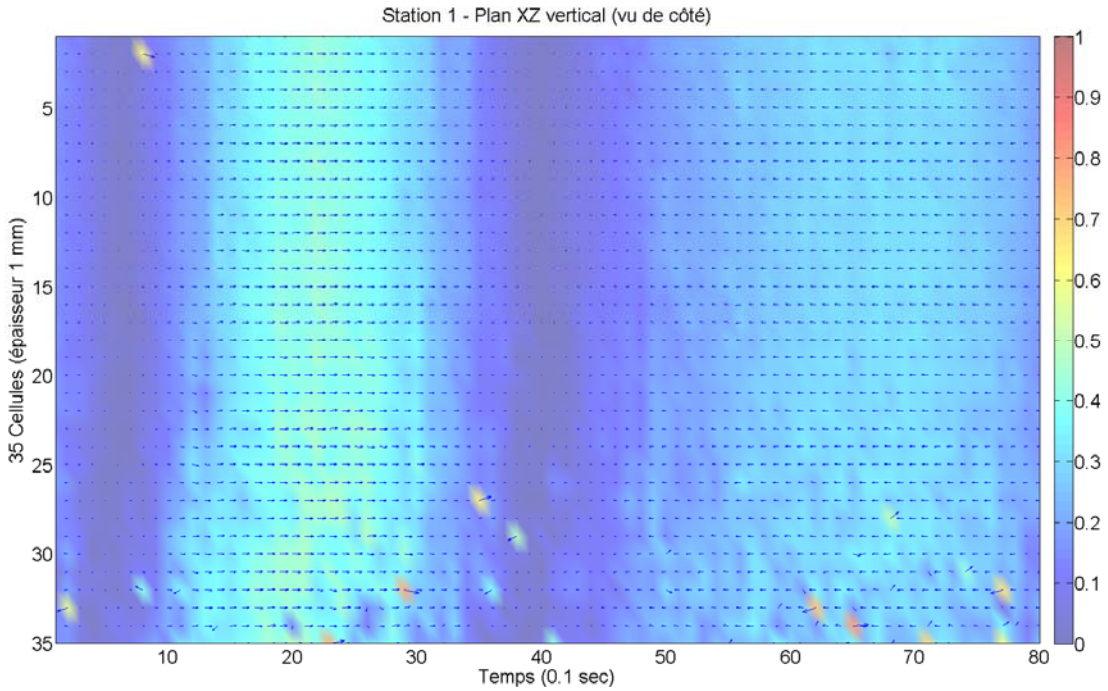


Figure 237. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XZ) à la station 1 pour une profondeur (d) de 3,5 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 8 s (n = 2100 à 2179)

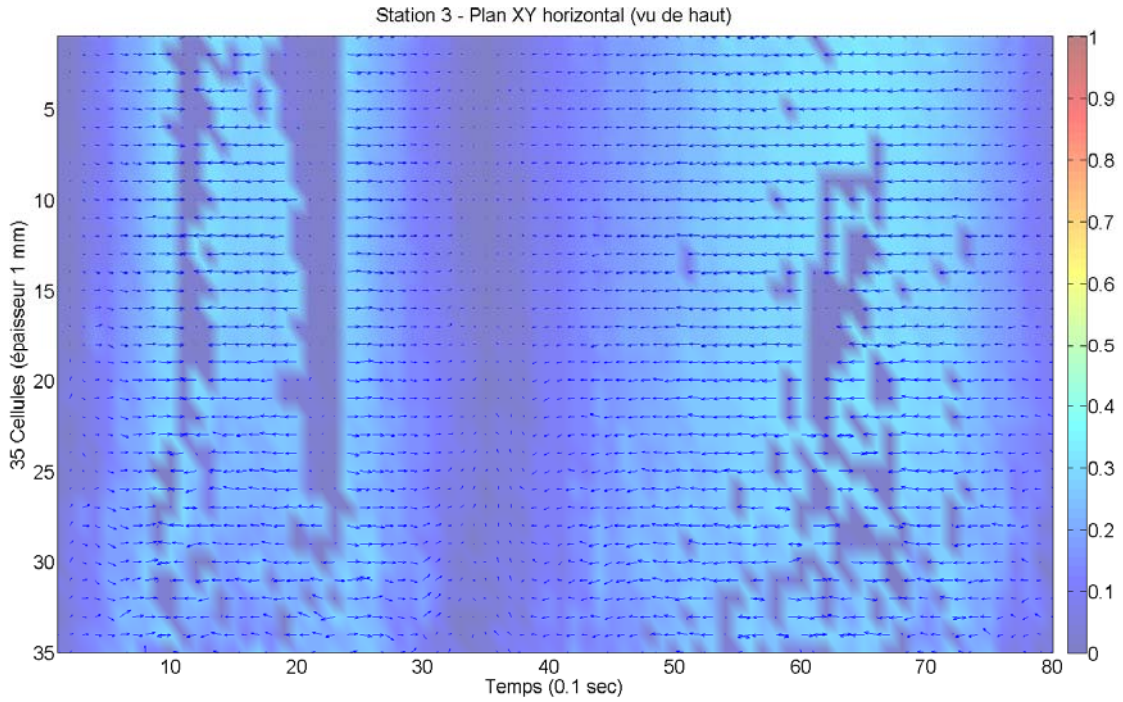


Figure 238. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XY) à la station 3 pour une profondeur (d) de 3,5 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 8 s (n = 2120 à 2199)

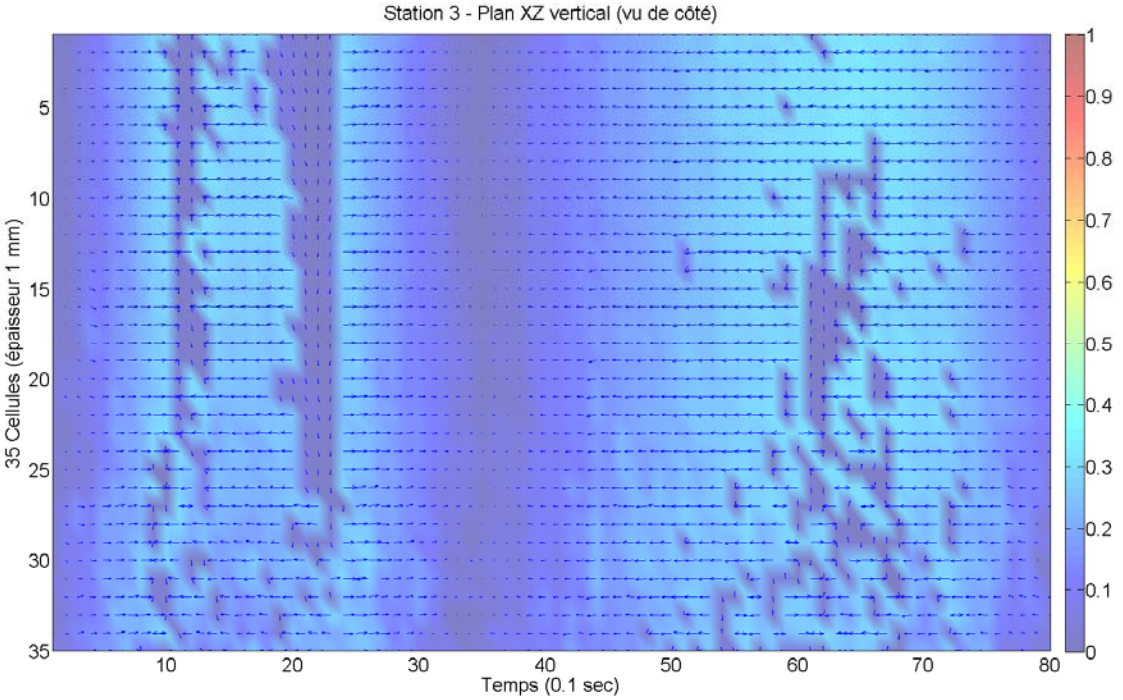


Figure 244. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XZ) à la station 3 pour une profondeur (d) de 3,5 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 8 s (n = 2120 à 2199)

Période de 10 secondes:

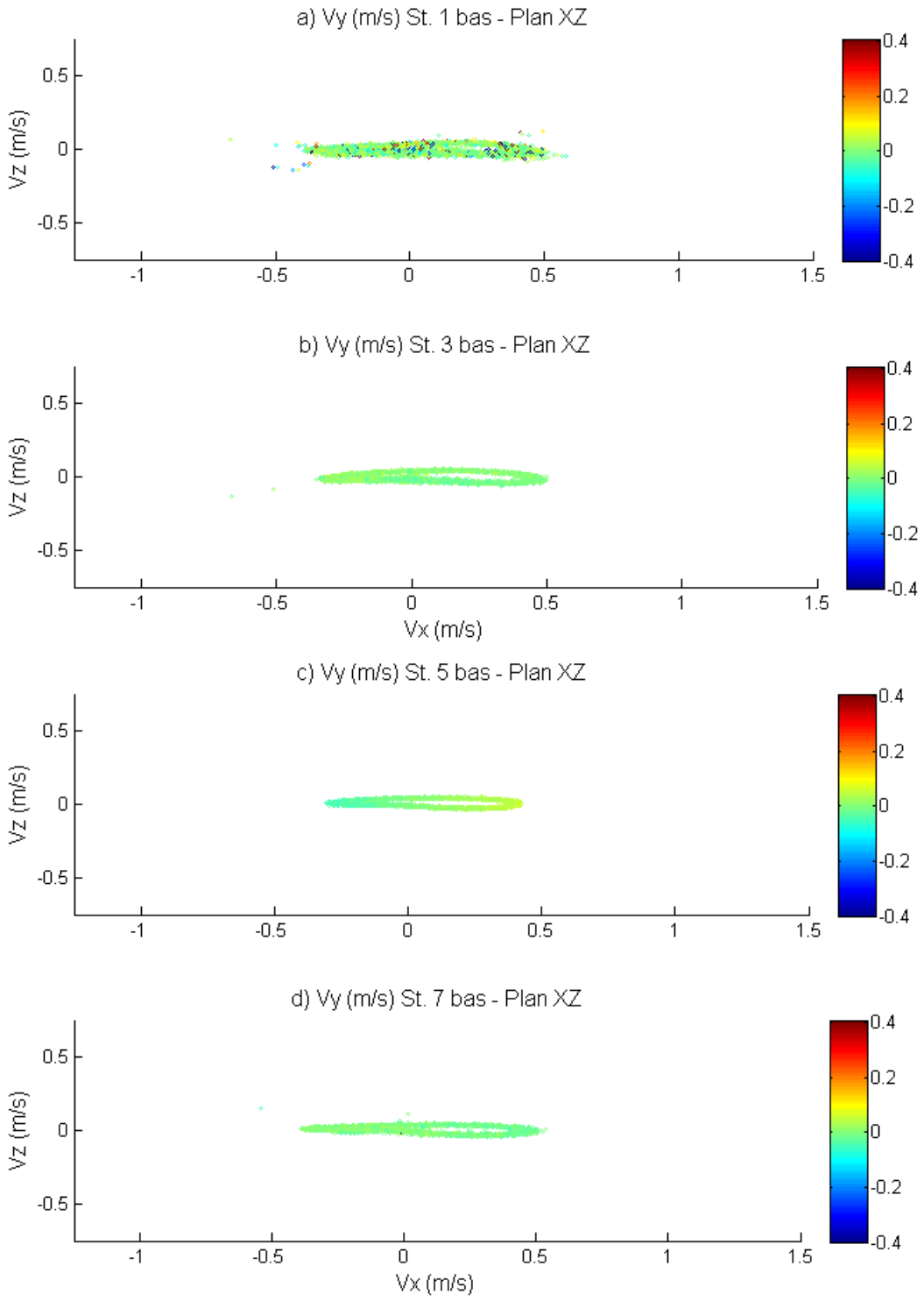


Figure 239. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino I situés en haut des quatre stations (a, b, c et d) pour une profondeur (d) de 3,5 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 10 s (N=4000)

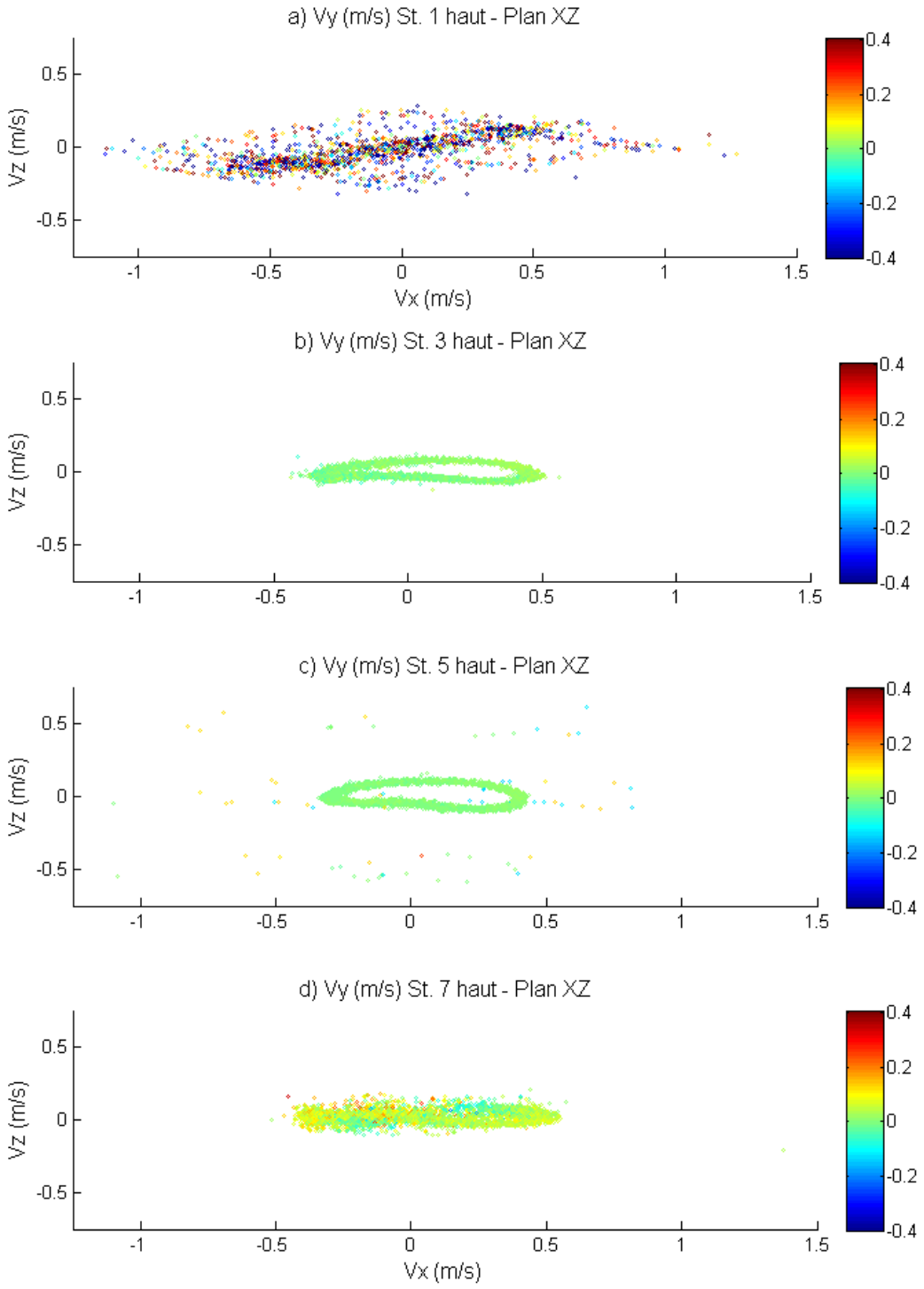


Figure 240. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino I situés au bas des quatre stations (a, b, c et d) pour une profondeur (d) de 3,5 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 10 s (N=4000)

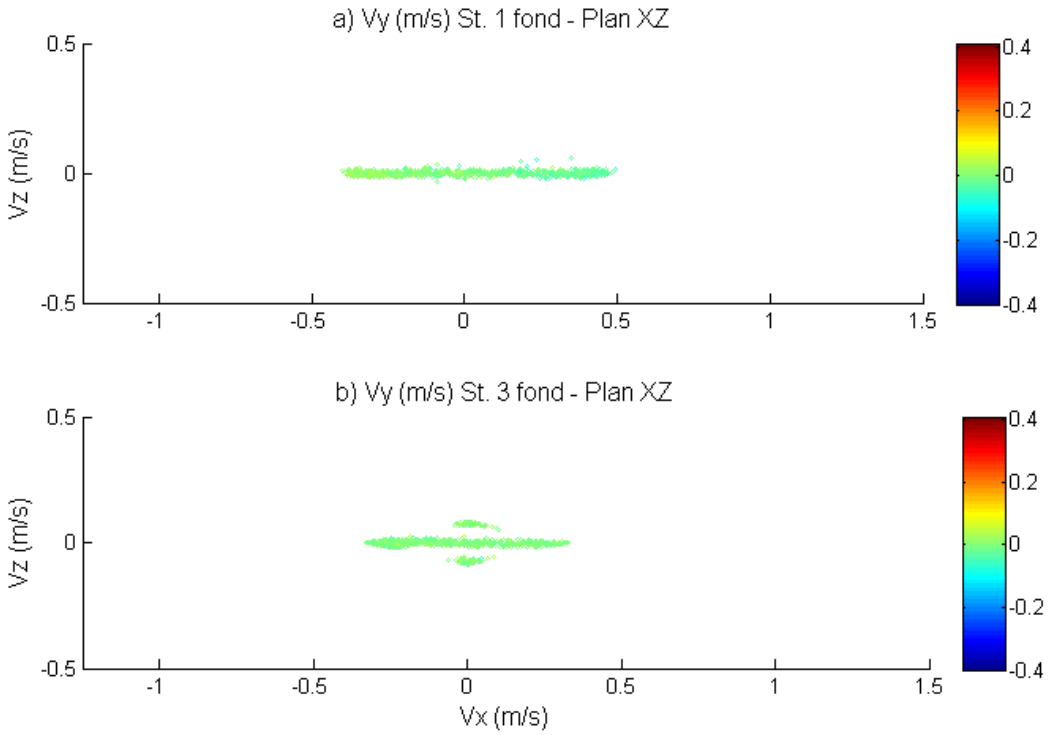


Figure 241. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino II situés au fond du canal aux stations a) 1 et b) 3 pour une profondeur (d) de 3,5 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 10 s (N=3000)

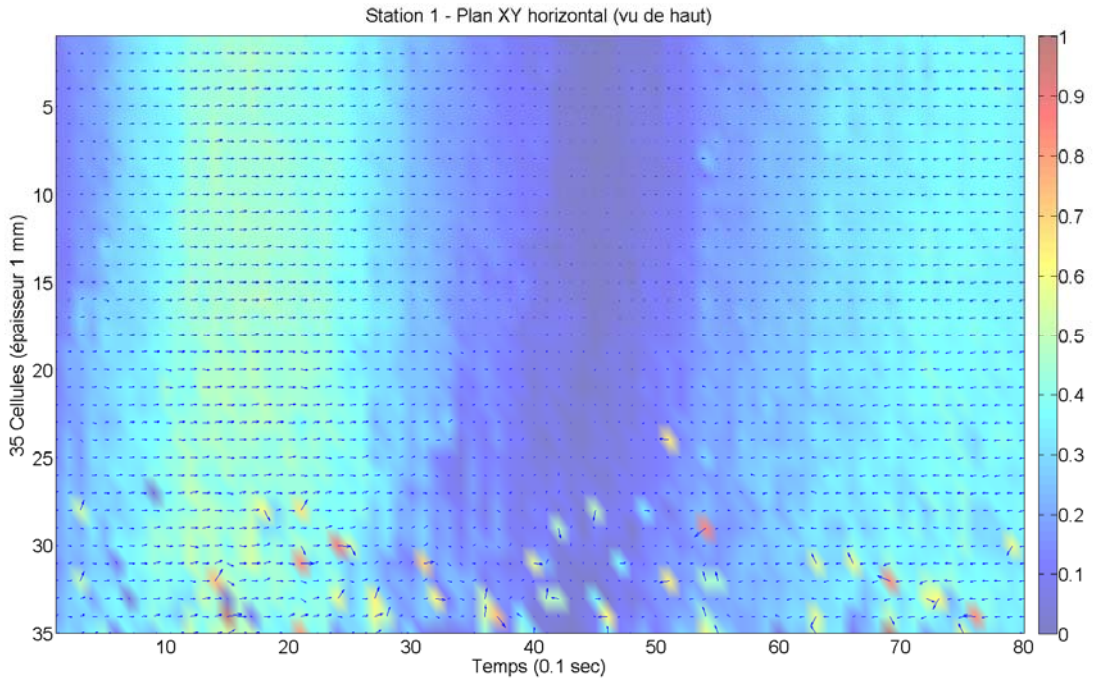


Figure 242. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XY) à la station 1 pour une profondeur (d) de 3,5 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 10 s (n = 2180 à 2259)

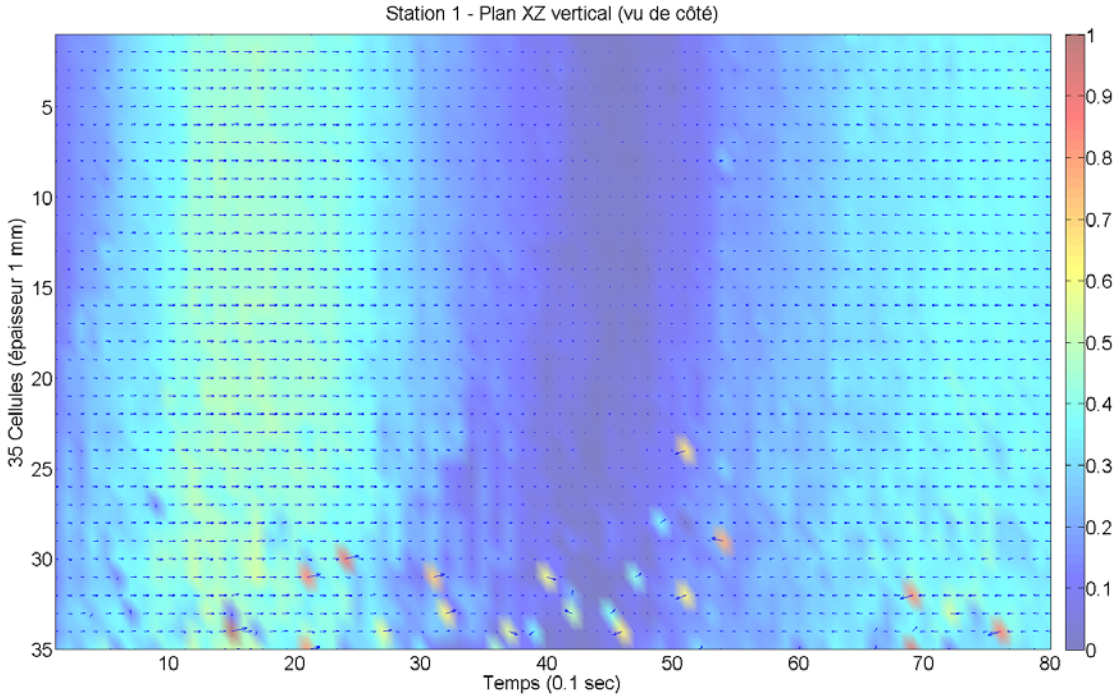


Figure 243. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XZ) à la station 1 pour une profondeur (d) de 3,5 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 10 s (n = 2180 à 2259)

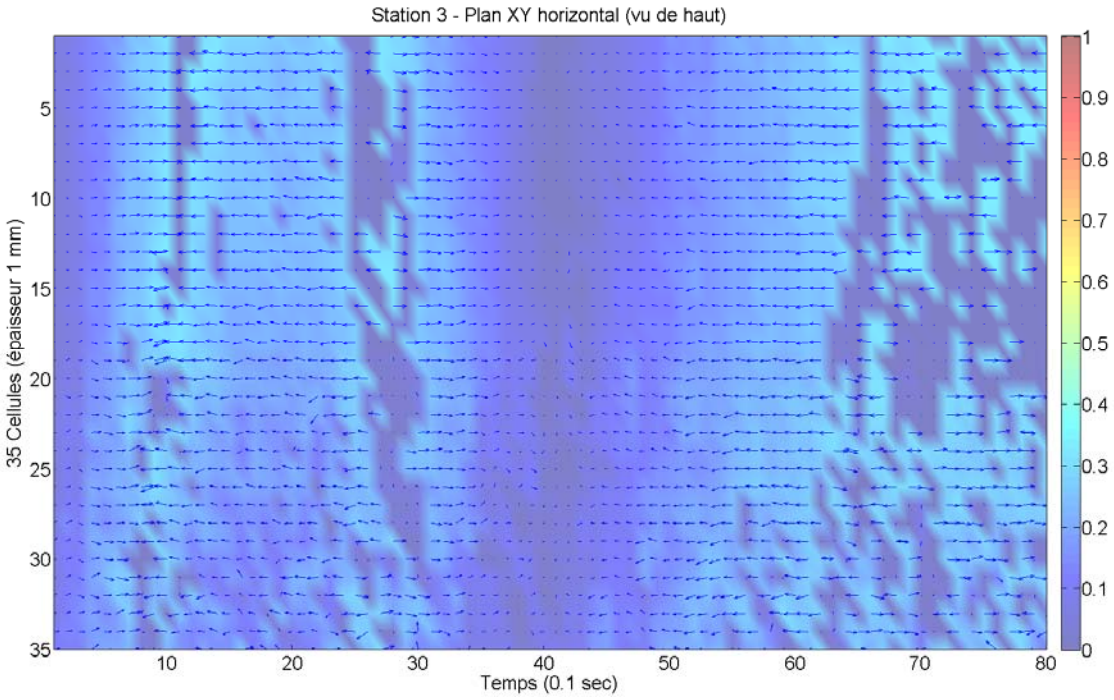


Figure 244. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XY) à la station 3 pour une profondeur (d) de 3,5 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 10 s (n = 2150 à 2229)

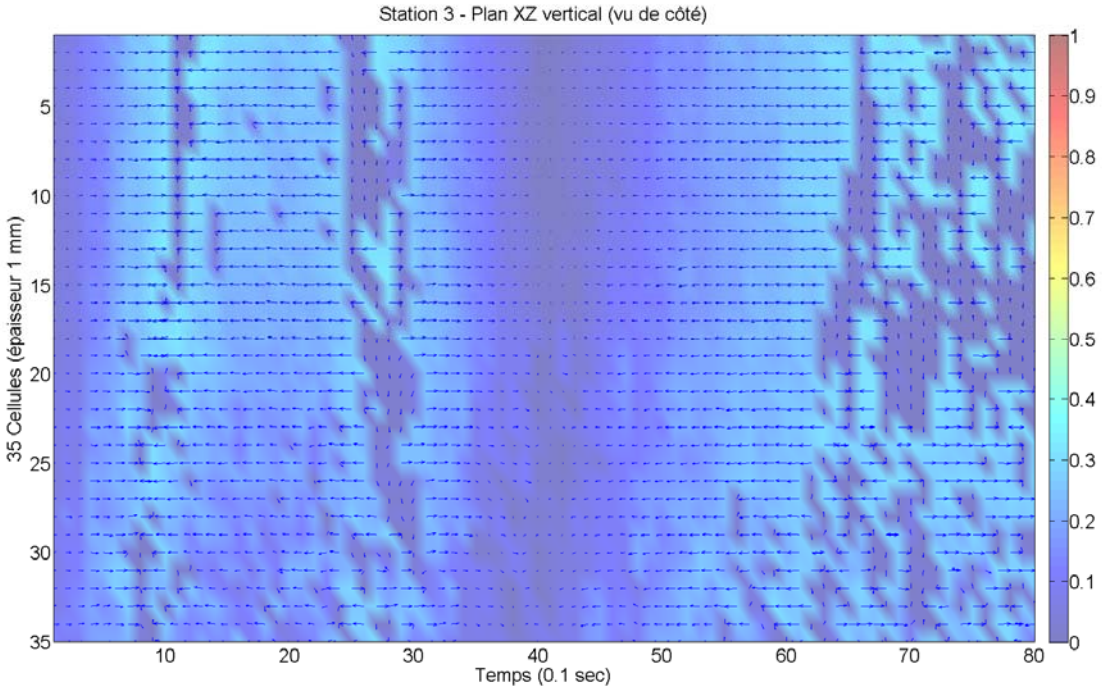


Figure 245. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XZ) à la station 3 pour une profondeur (d) de 3,5 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 10 s (n = 2150 à 2229)

Période de 12 secondes:

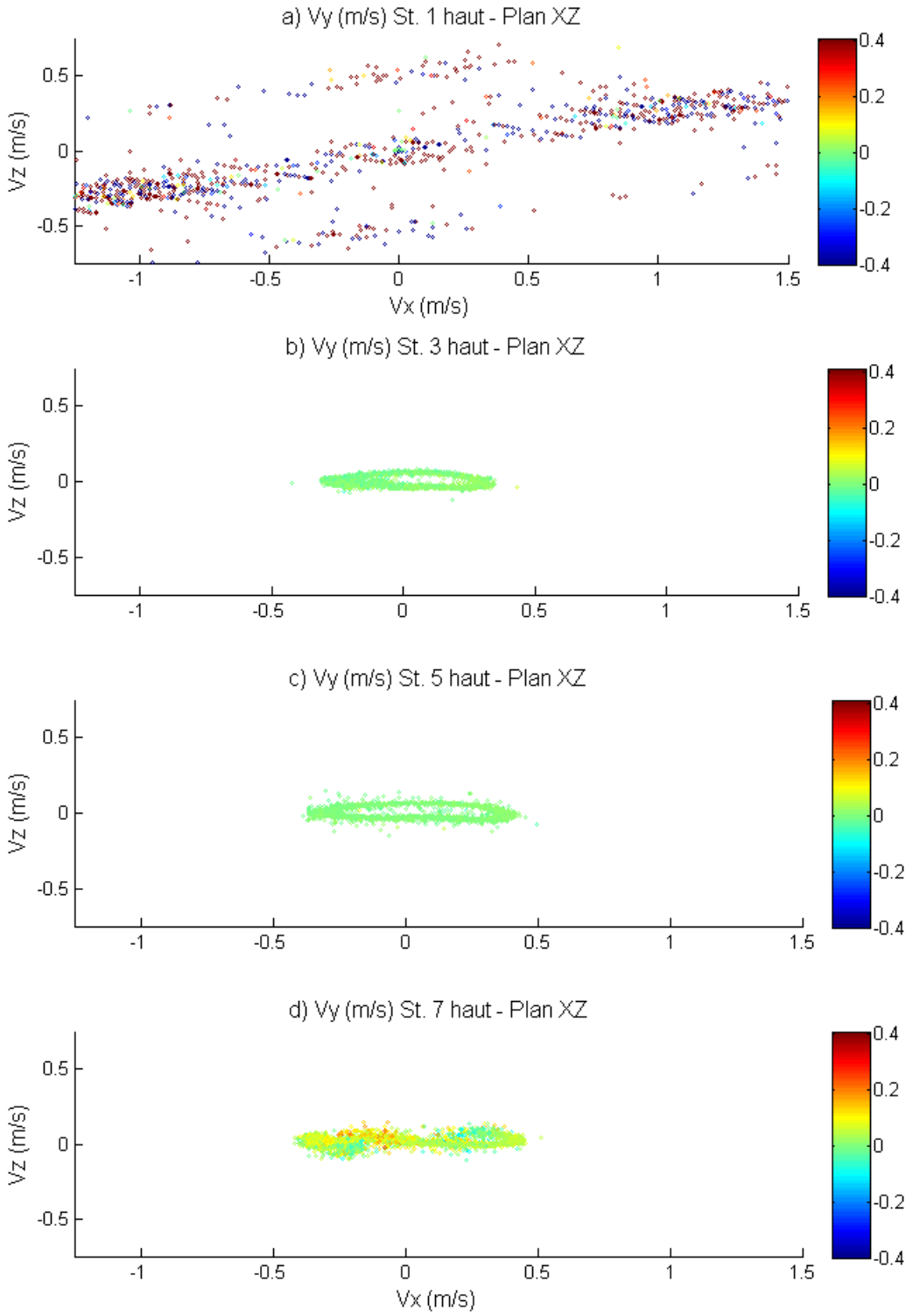


Figure 246. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino I situés en haut des quatre stations (a, b, c et d) pour une profondeur (d) de 3,5 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 12 s (N=3000)

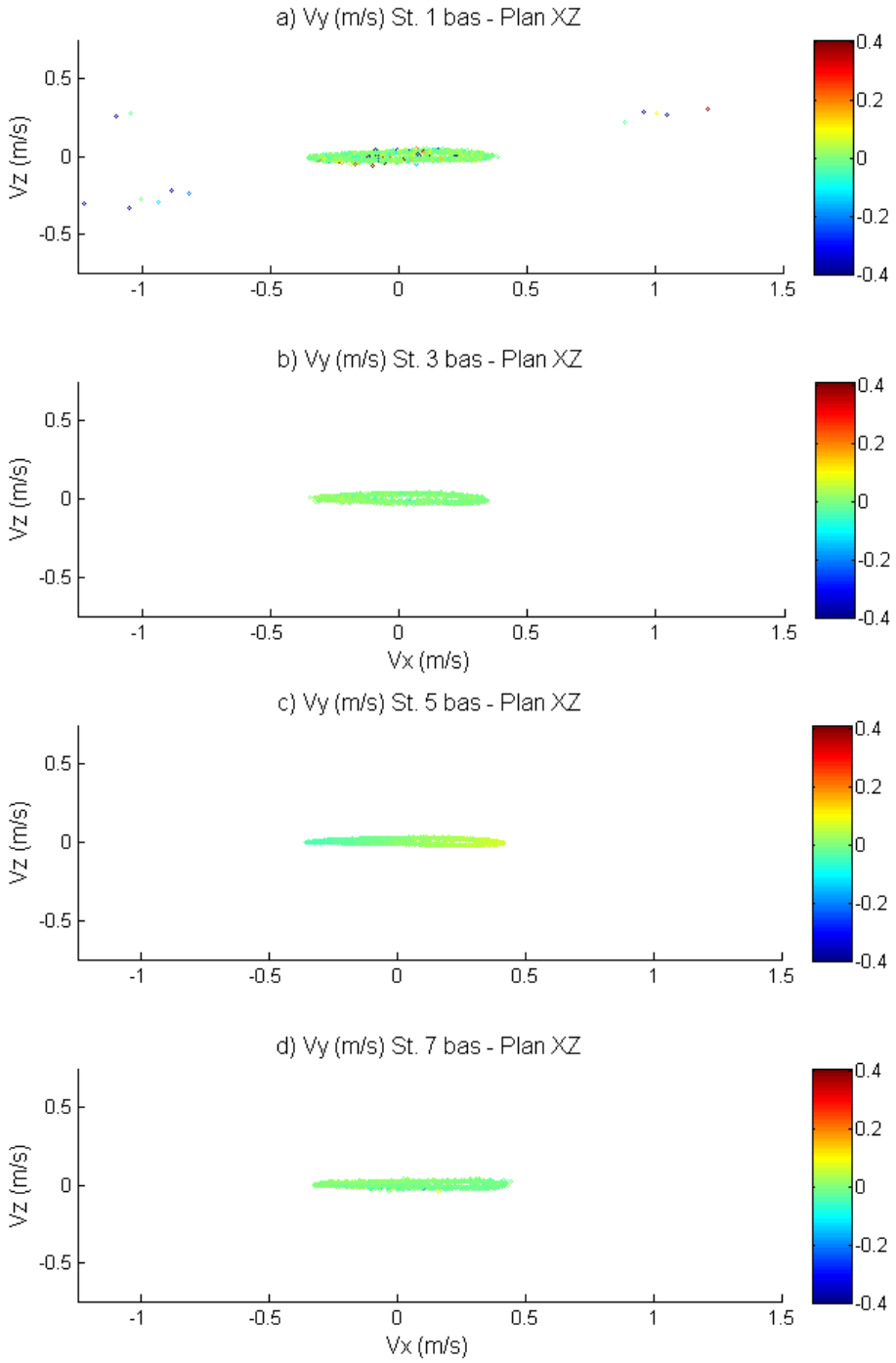


Figure 247. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino I situés au bas des quatre stations (a, b, c et d) pour une profondeur (d) de 3,5 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 12 s (N=3000)

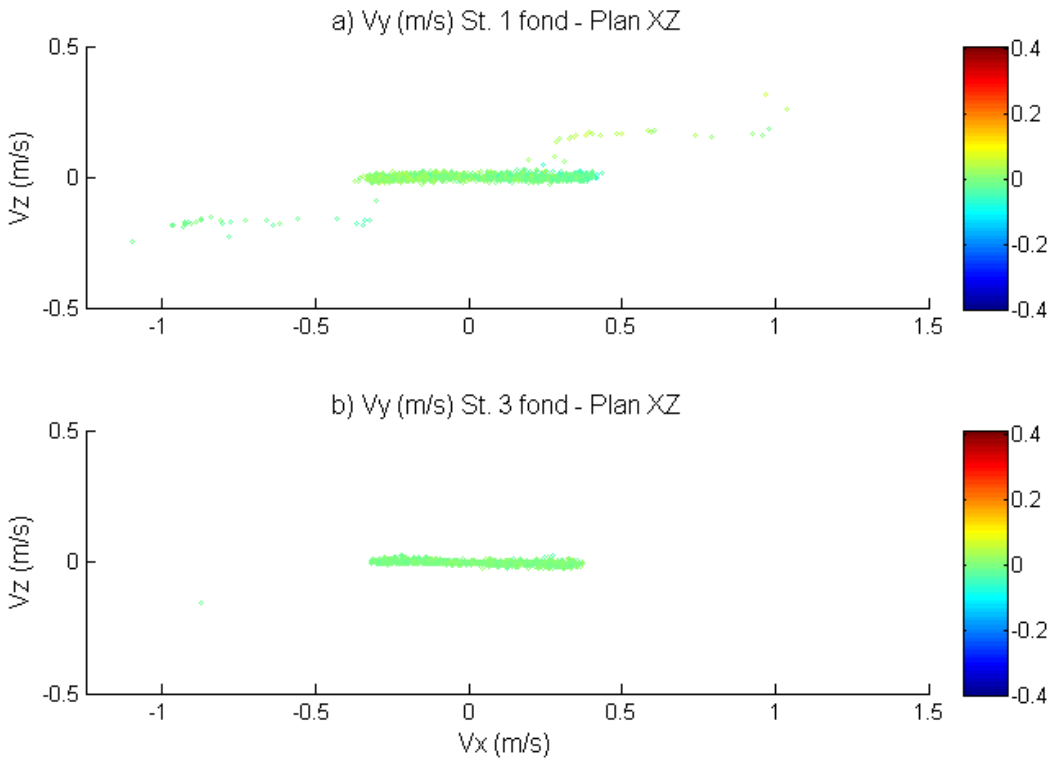


Figure 248. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino II situés au fond du canal aux stations a) 1 et b) 3 pour une profondeur (d) de 3,5 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 12 s (N=2000)

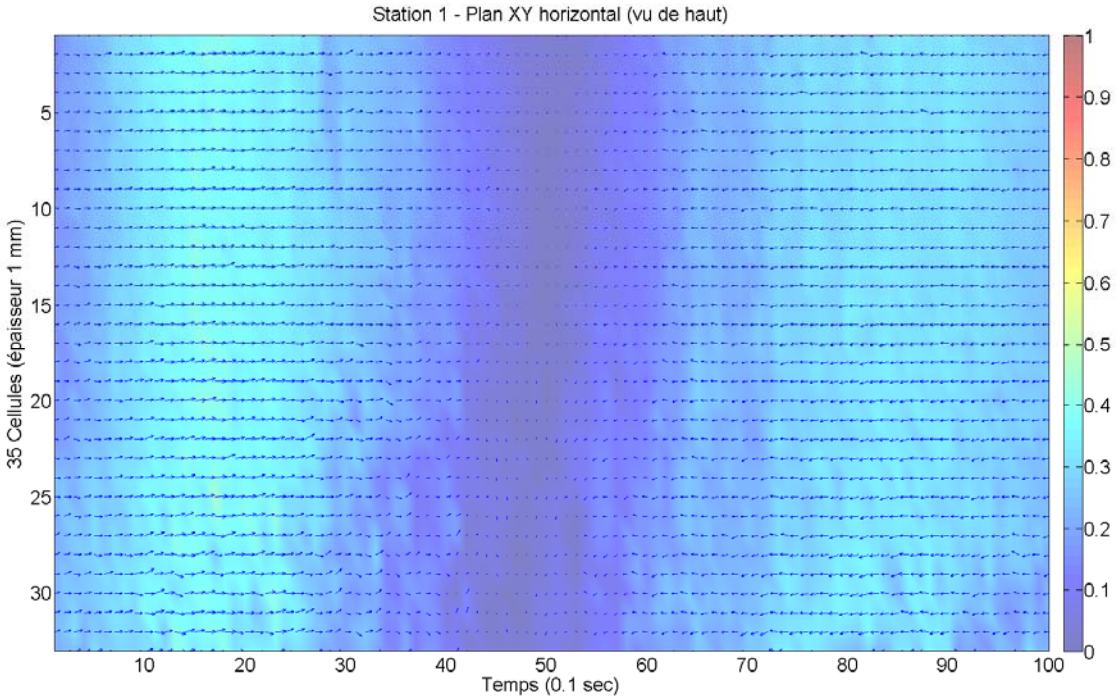


Figure 249. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XY) à la station 1 pour une profondeur (d) de 3,5 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 12 s (n = 2020 à 2119)

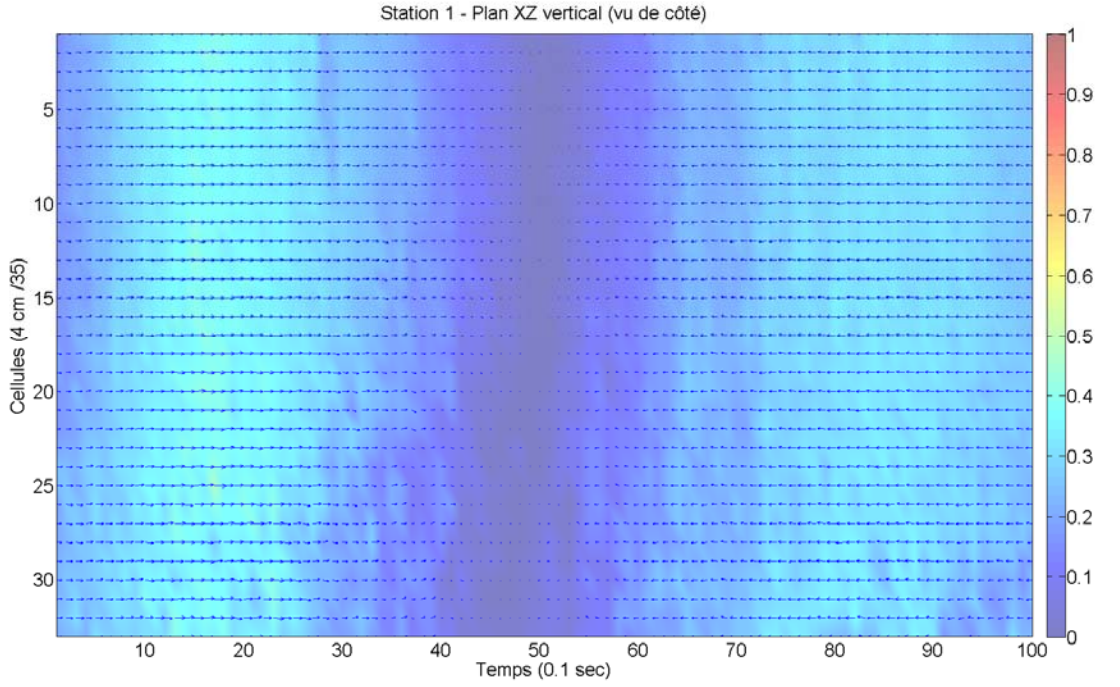


Figure 250. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XZ) à la station 1 pour une profondeur (d) de 3,5 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 12 s (n = 2020 à 2119)

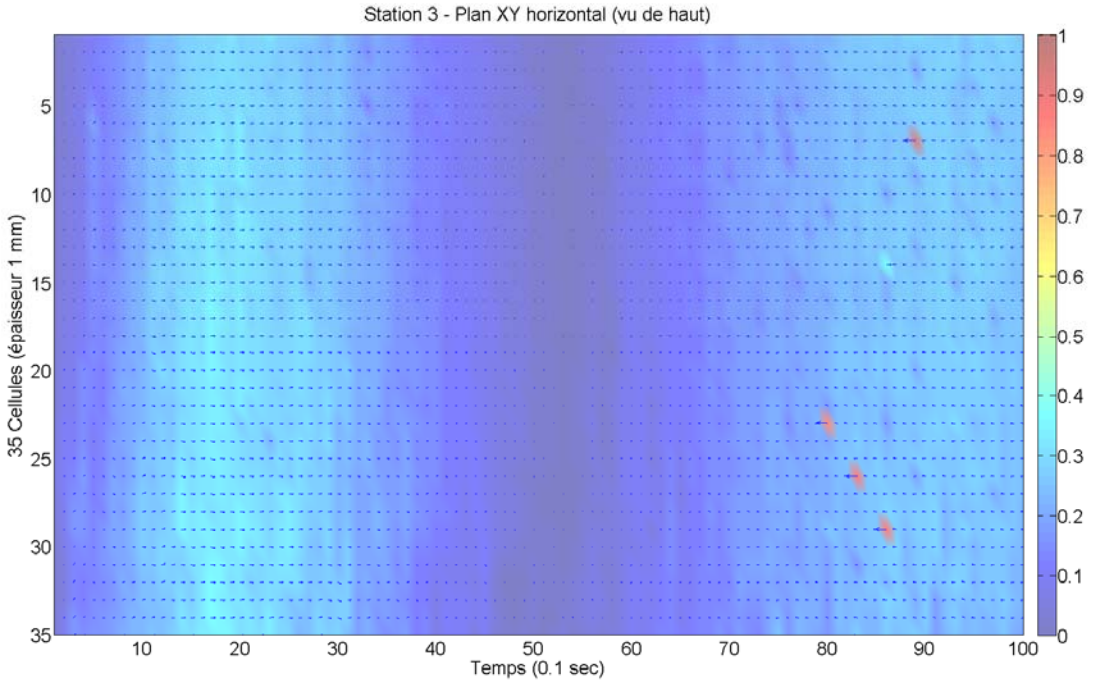


Figure 251. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XY) à la station 3 pour une profondeur (d) de 3,5 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 12 s (n = 2080 à 2179)

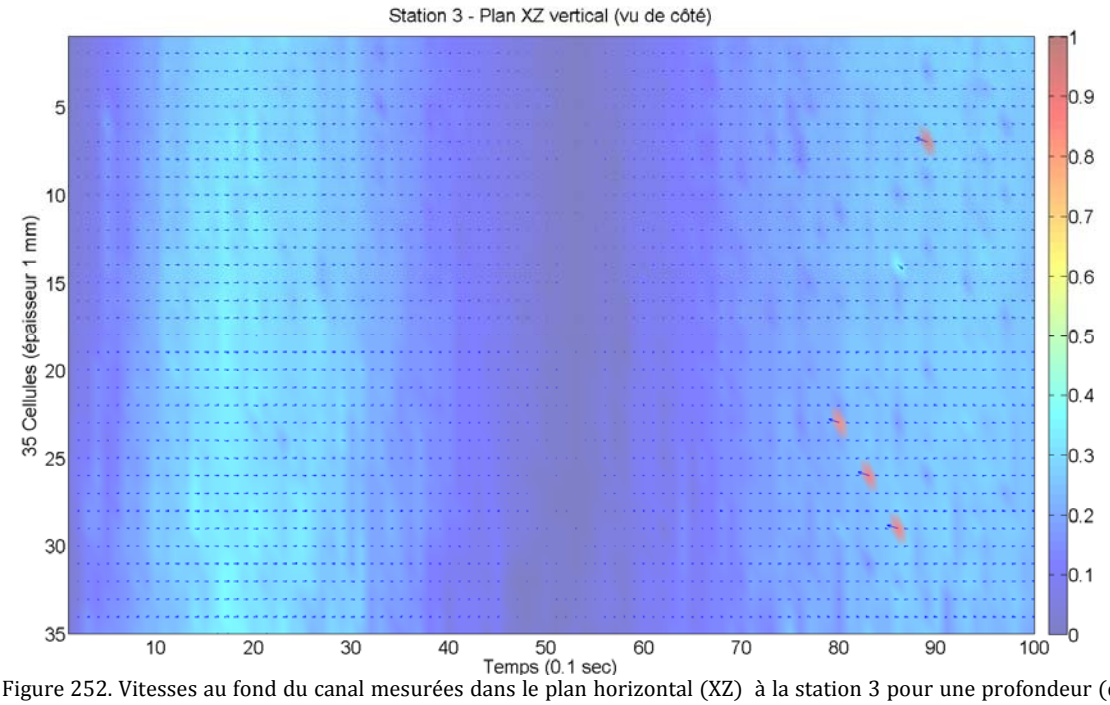


Figure 252. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XZ) à la station 3 pour une profondeur (d) de 3,5 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 12 s (n = 2080 à 2179)

5.2.8 Profondeur d'eau (d) de 3,5 mètres et hauteur de vague (H) de 1 mètre

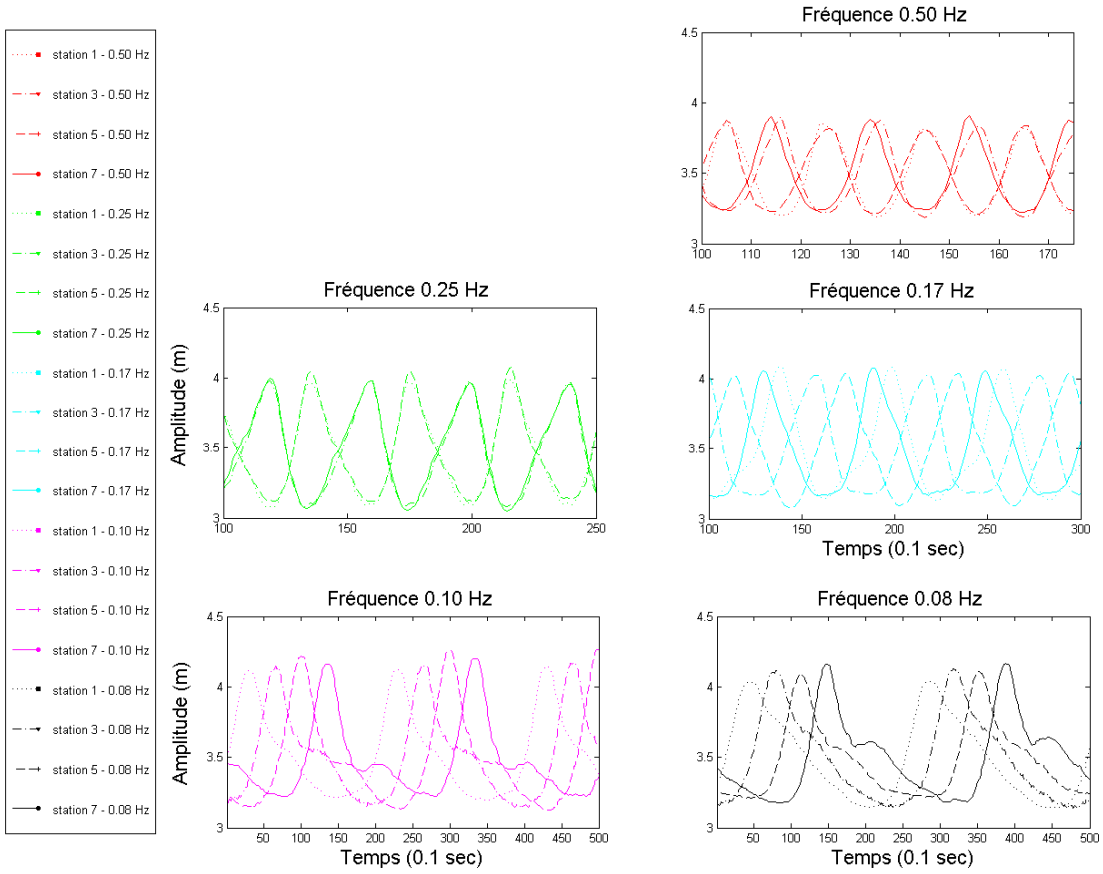


Figure 253. Niveaux d'eau enregistrés aux stations 1, 3, 5 et 7 pour une profondeur d'eau de 3,5 mètres, des vagues de 1 mètre de hauteur et des périodes de 2, 4, 6, 8 et 10 secondes respectivement.

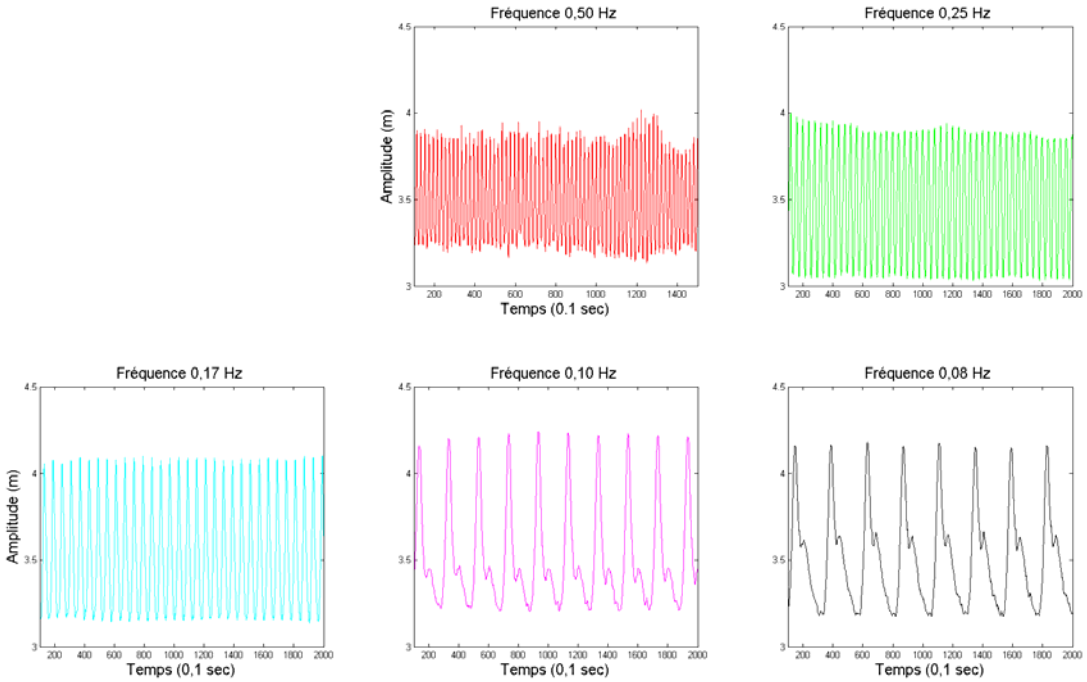


Figure 254. Niveaux d'eau enregistrés à la station 7 pour une profondeur d'eau de 3,5 mètres, des vagues de 1 mètre de hauteur et des périodes de 2,4, 6, 8 et 10secondes respectivement.

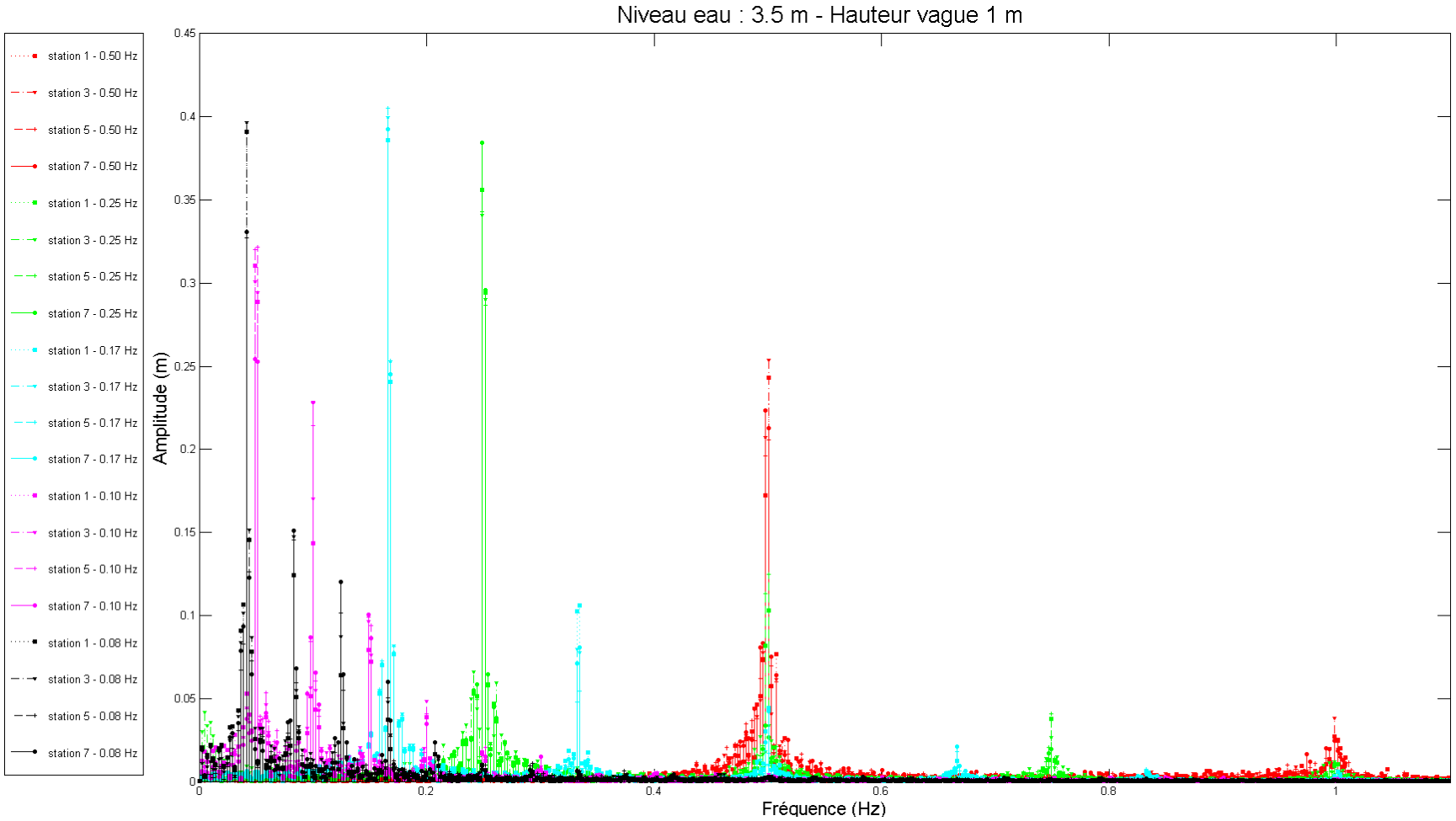


Figure 255. Transformée de Fourier : Résultats de l'analyse spectrale pour une profondeur d'eau de 3,5 m et une hauteur de vague de 1 m en fonction des différentes périodes de 4 s (0,25 Hz), 6 s (0,17 Hz), 8 s (0,13 Hz) et 10 s (0,10Hz) pour les quatre stations d'échantillonnage du canal

Période de 2 secondes:

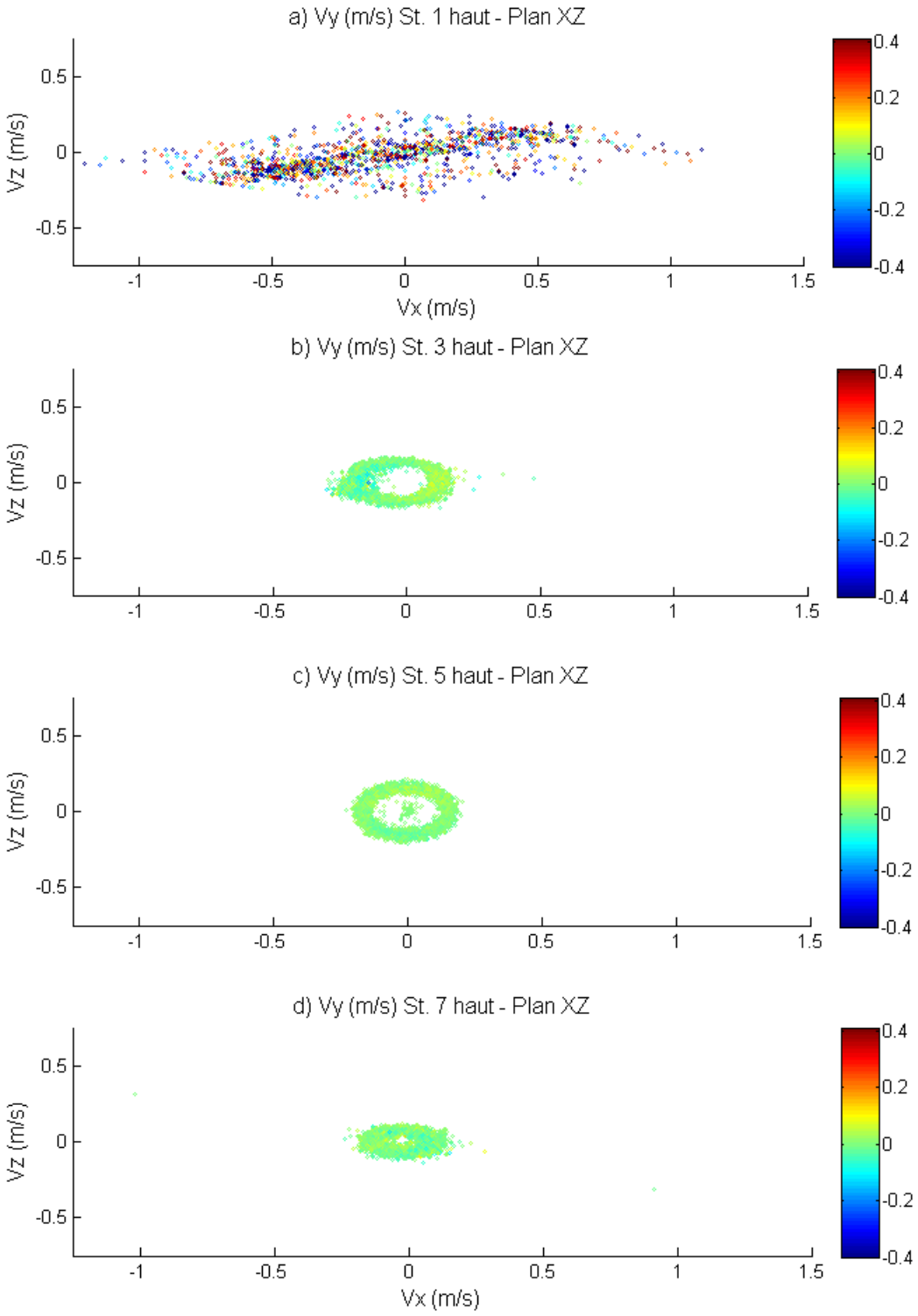


Figure 256. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino I situés en haut des quatre stations (a, b, c et d) pour une profondeur (d) de 3,5 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 2 s (N=3000)

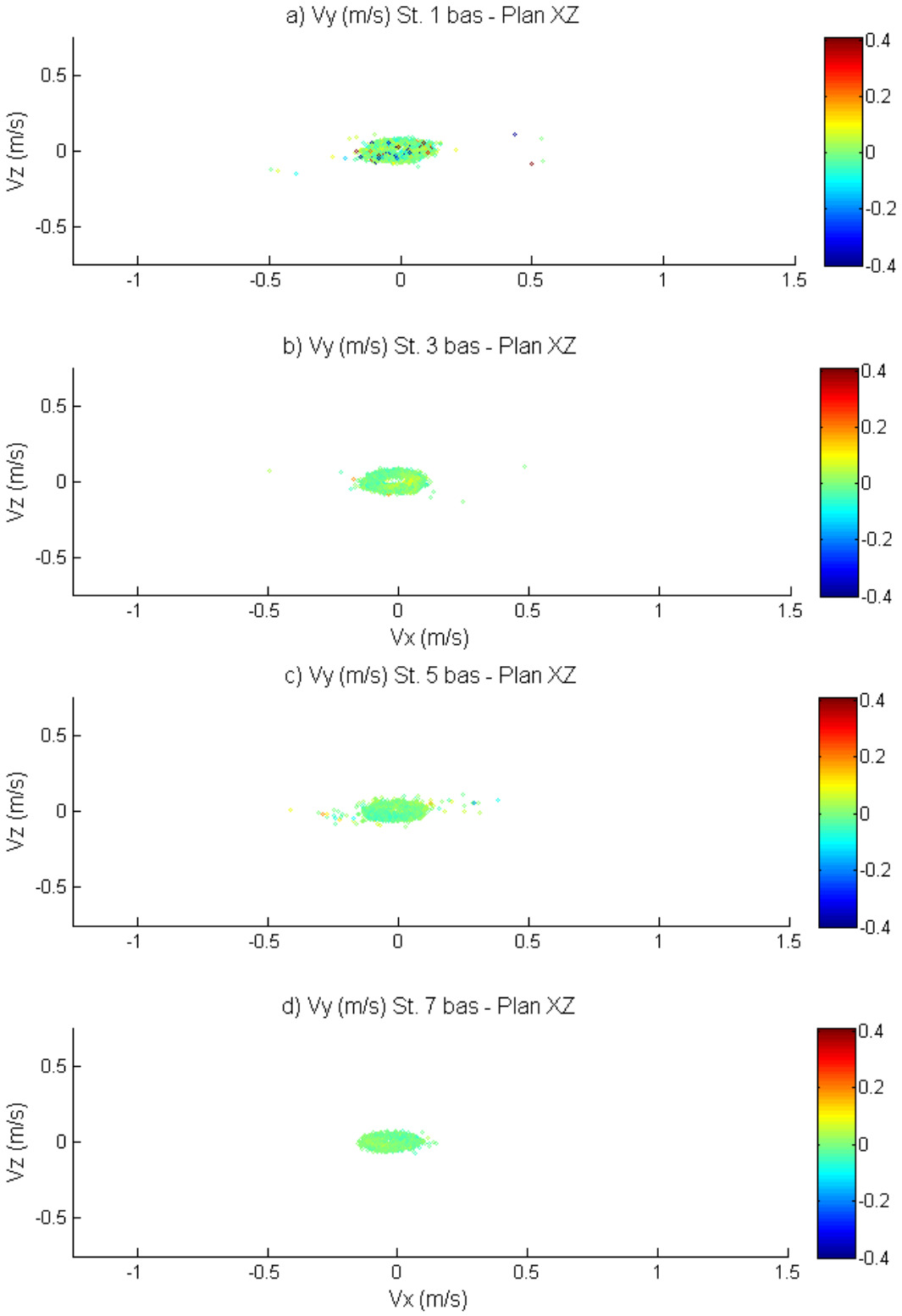


Figure 257. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino I situés au bas des quatre stations (a, b, c et d) pour une profondeur (d) de 3,5 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 2 s (N=3000)

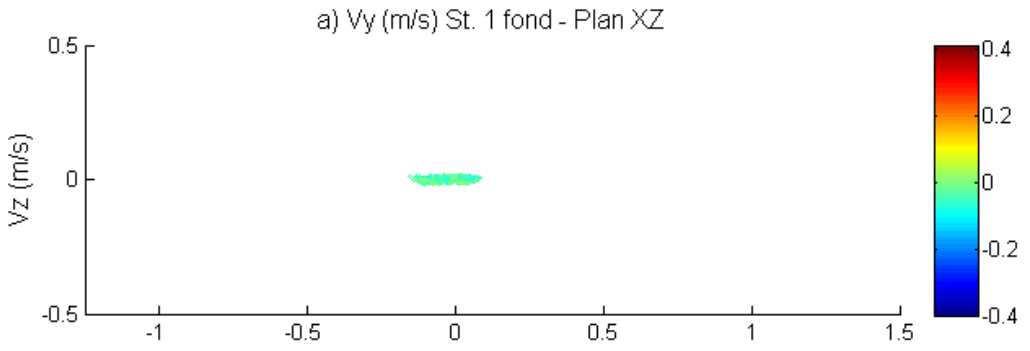


Figure 258. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino II situés au fond du canal à la stations a) 1 pour une profondeur (d) de 3,5 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 2 s (N=3000)

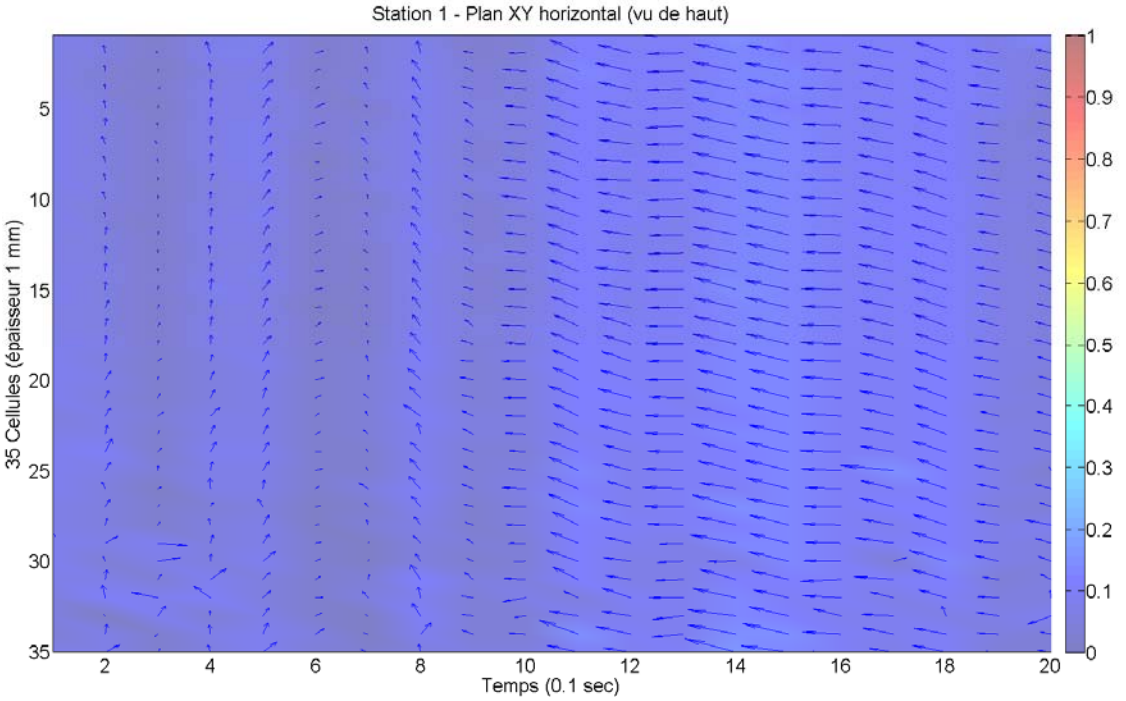


Figure 259. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XY) à la station 1 pour une profondeur (d) de 3,5 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 2 s (n = 2020 à 2119)

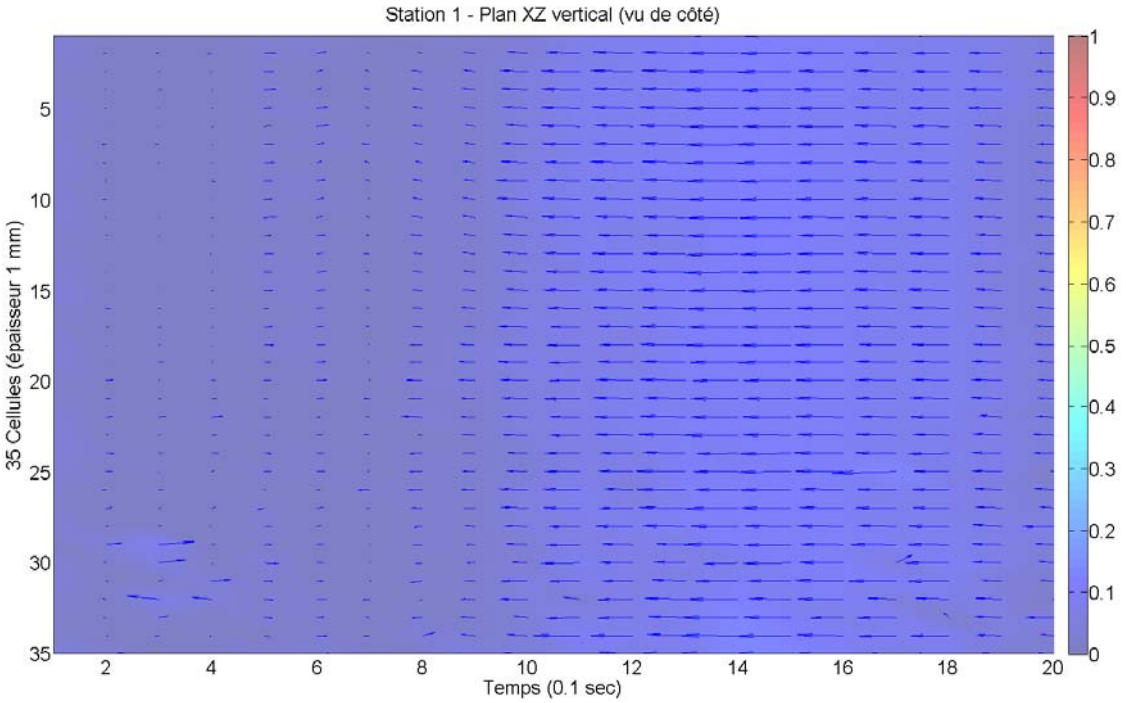


Figure 260. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XZ) à la station 1 pour une profondeur (d) de 3,5 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 2 s (n = 2020 à 2119)

Période de 4 secondes:

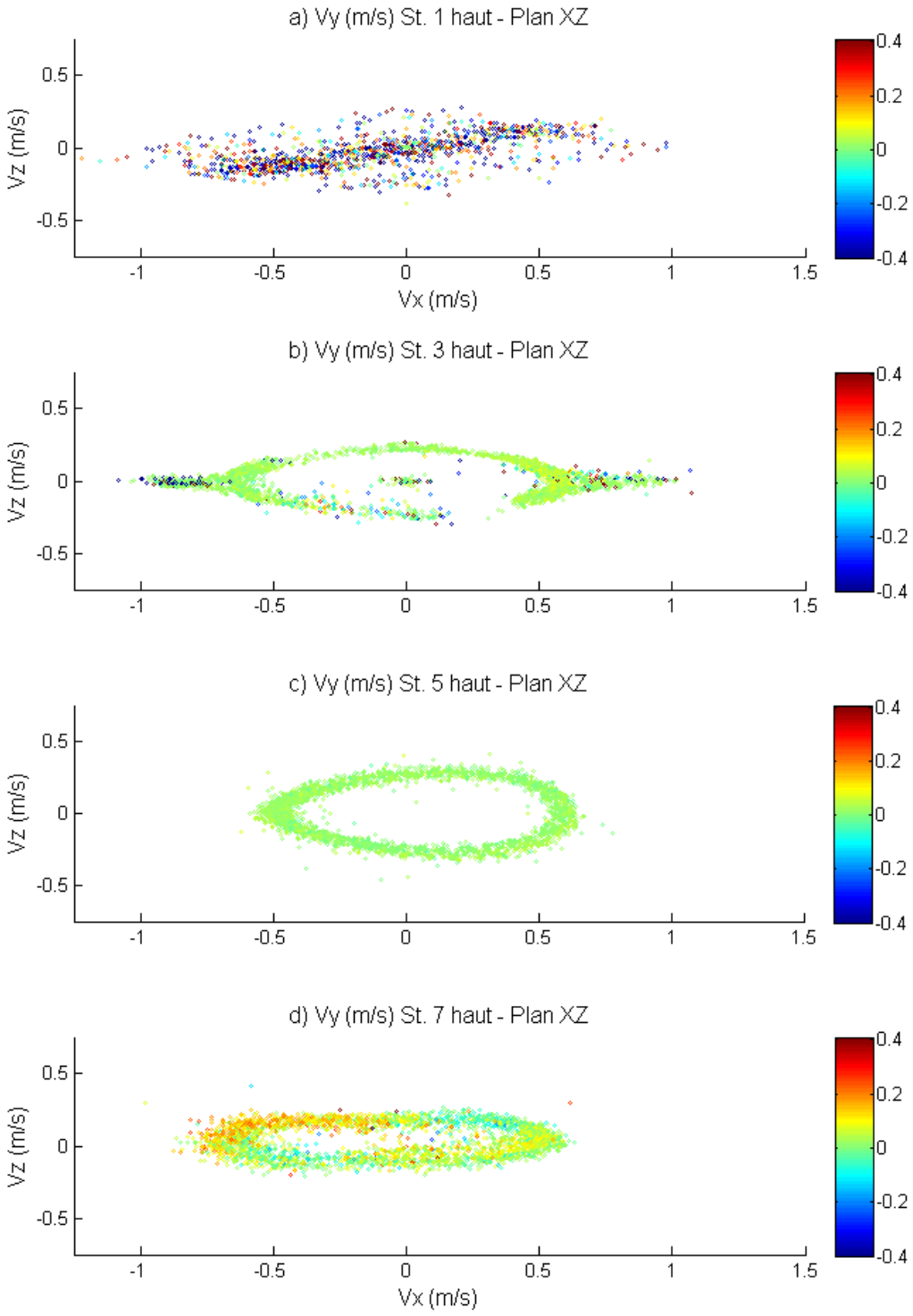


Figure 261. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino I situés en haut des quatre stations (a, b, c et d) pour une profondeur (d) de 3,5 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 4 s (N=3000)

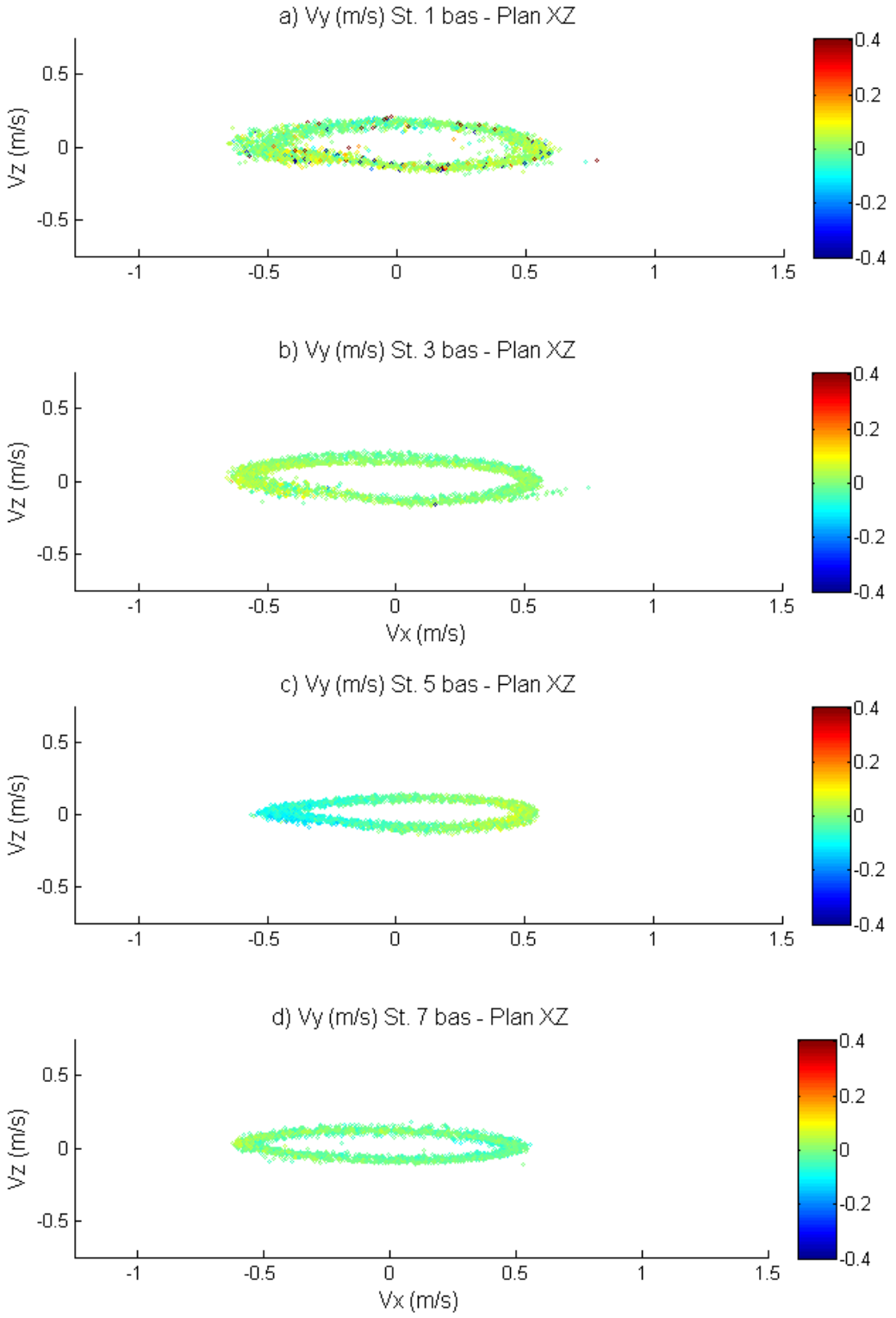


Figure 262. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino I situés au bas des quatre stations (a, b, c et d) pour une profondeur (d) de 3,5 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 4 s (N=3000)

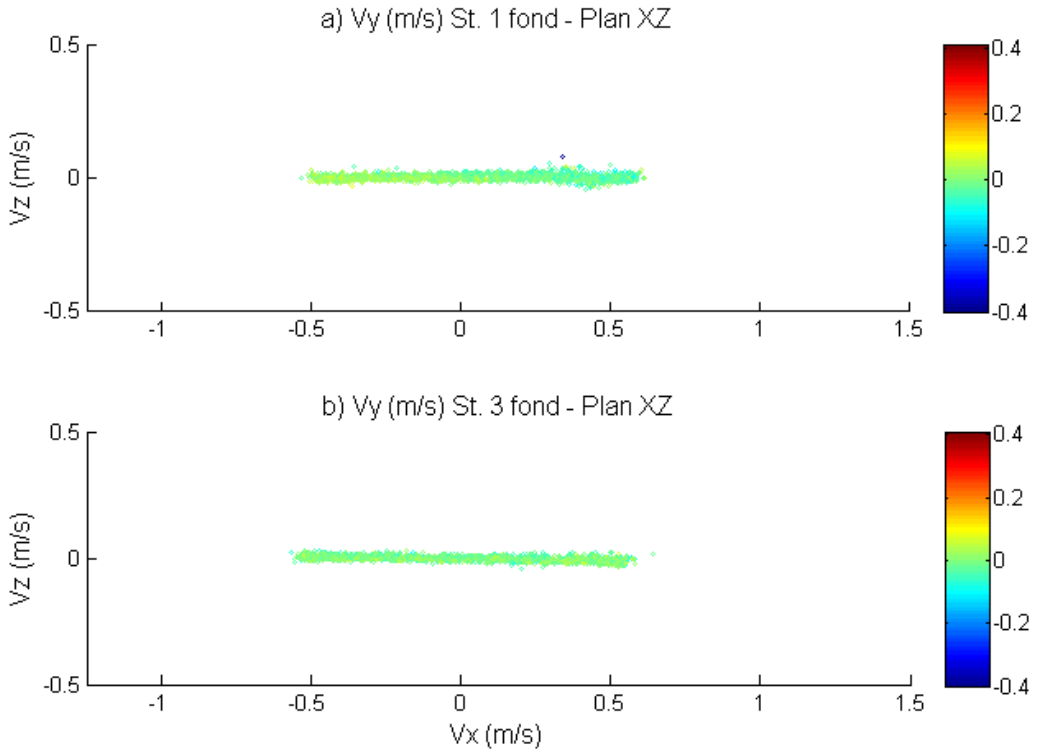


Figure 263. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino II situés au fond du canal aux stations a) 1 et b) 3 pour une profondeur (d) de 3,5 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 4 s (N=2500)

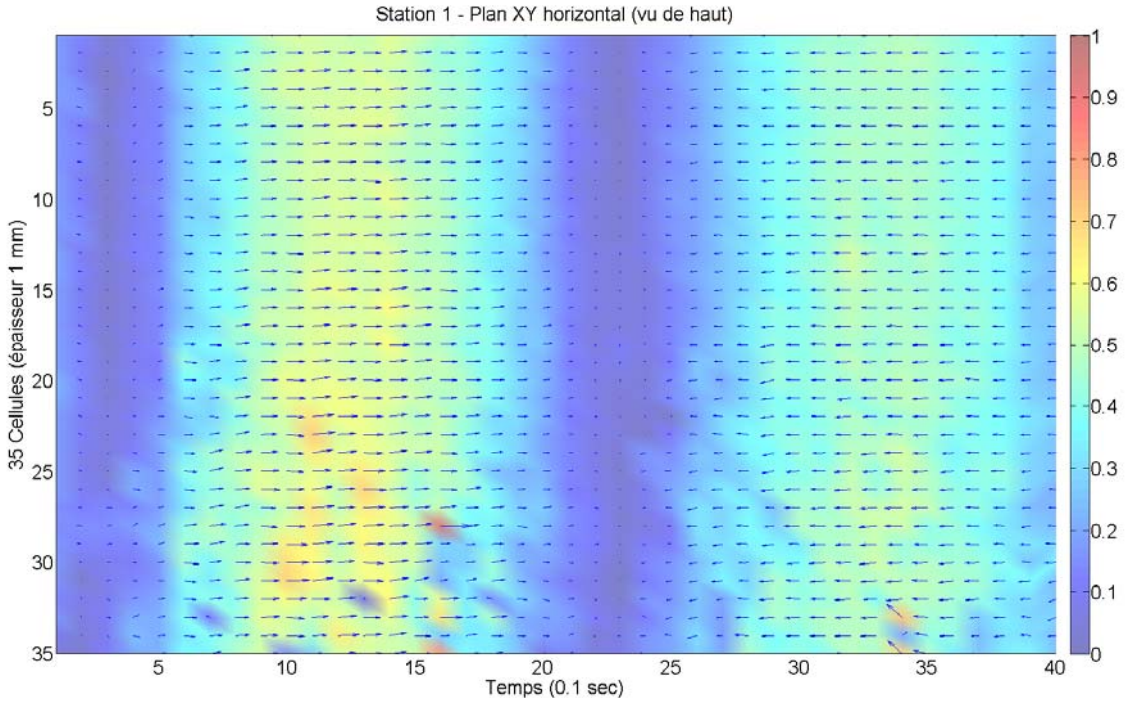


Figure 264. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XY) à la station 1 pour une profondeur (d) de 3,5 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 4 s (n = 1150 à 1189)

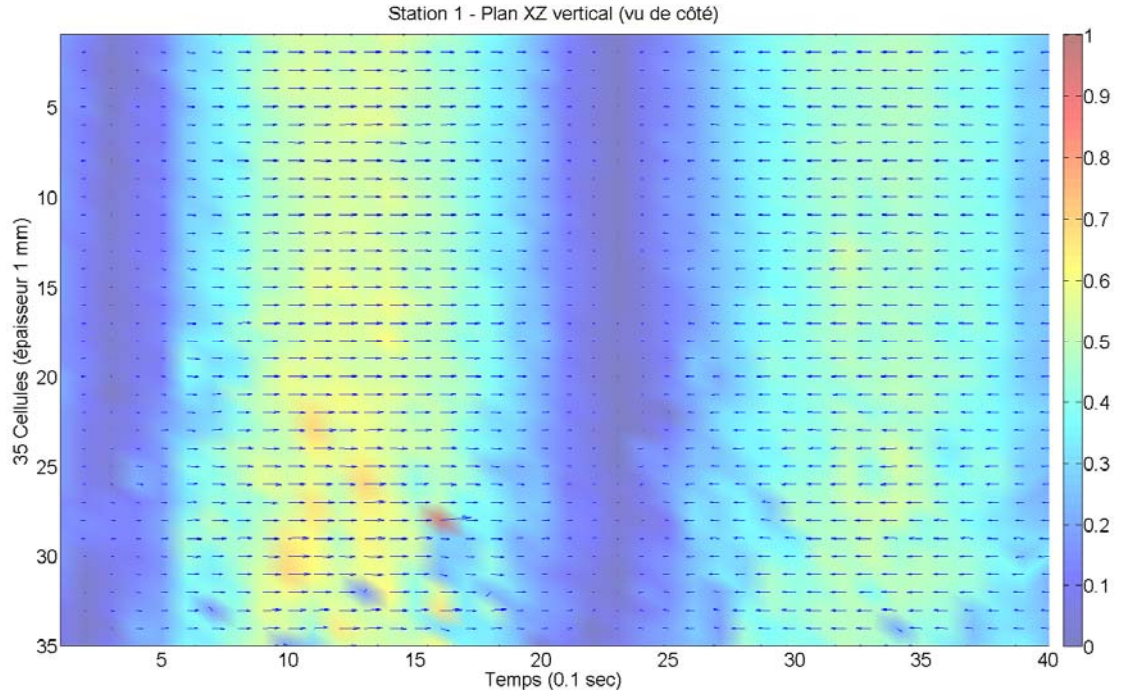


Figure 265. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XZ) à la station 1 pour une profondeur (d) de 3,5 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 4 s (n = 1150 à 1189)

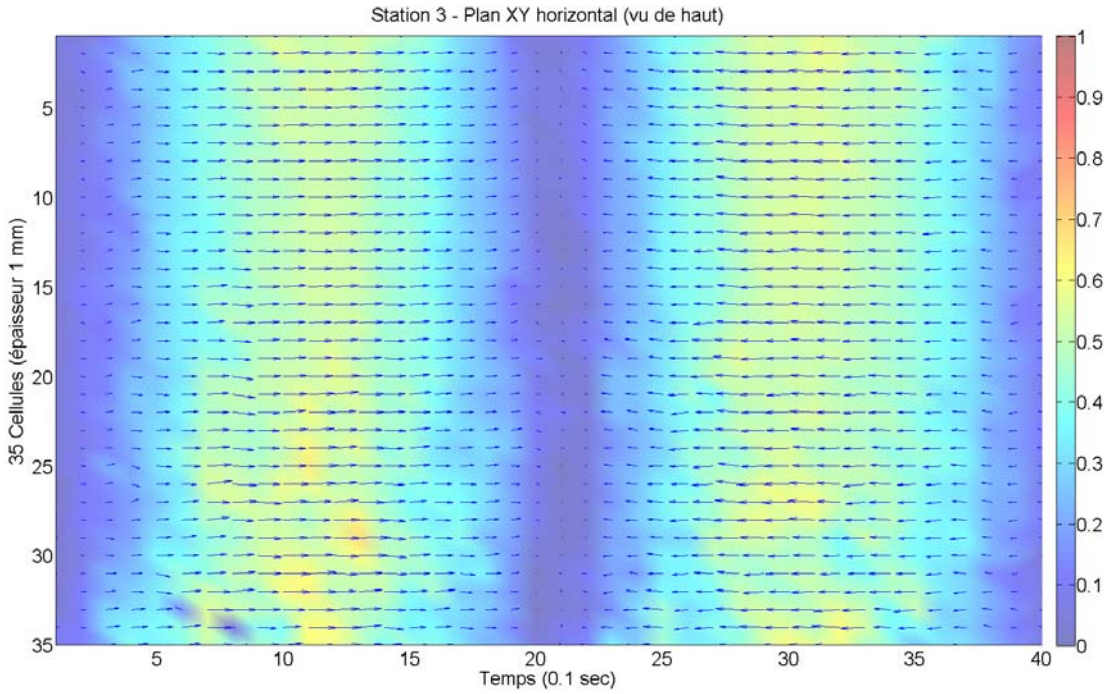


Figure 266. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XY) à la station 1 pour une profondeur (d) de 3,5 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 4 s (n = 1190 à 1229)

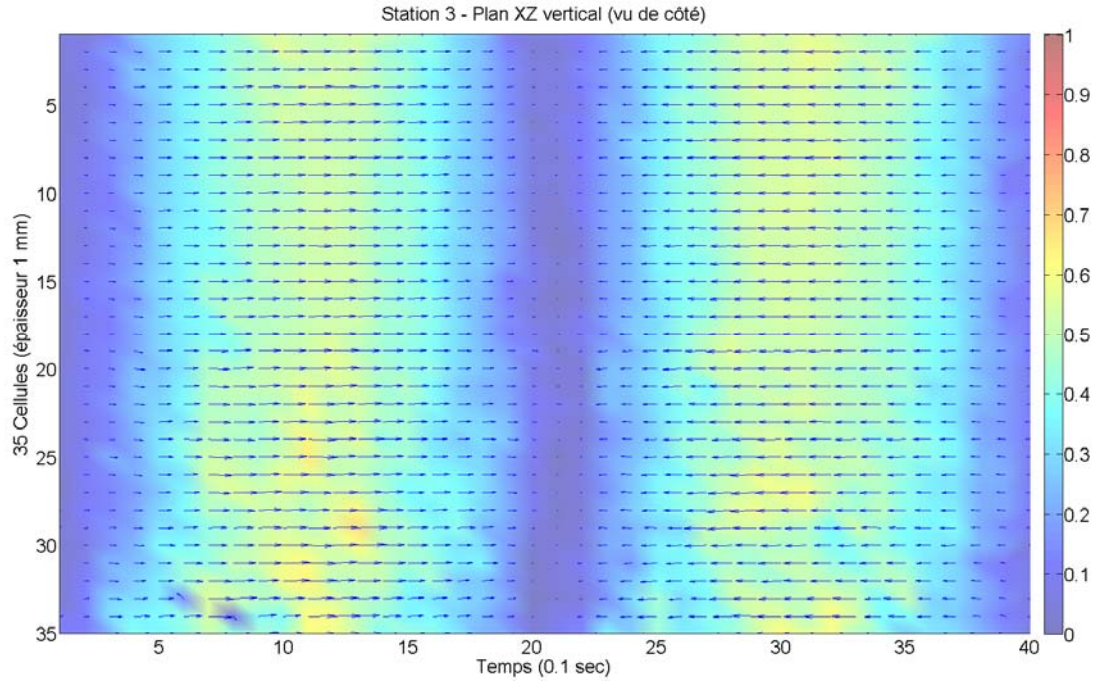


Figure 267. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XZ) à la station 1 pour une profondeur (d) de 3,5 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 4 s (n = 1190 à 1229)

Période de 6 secondes:

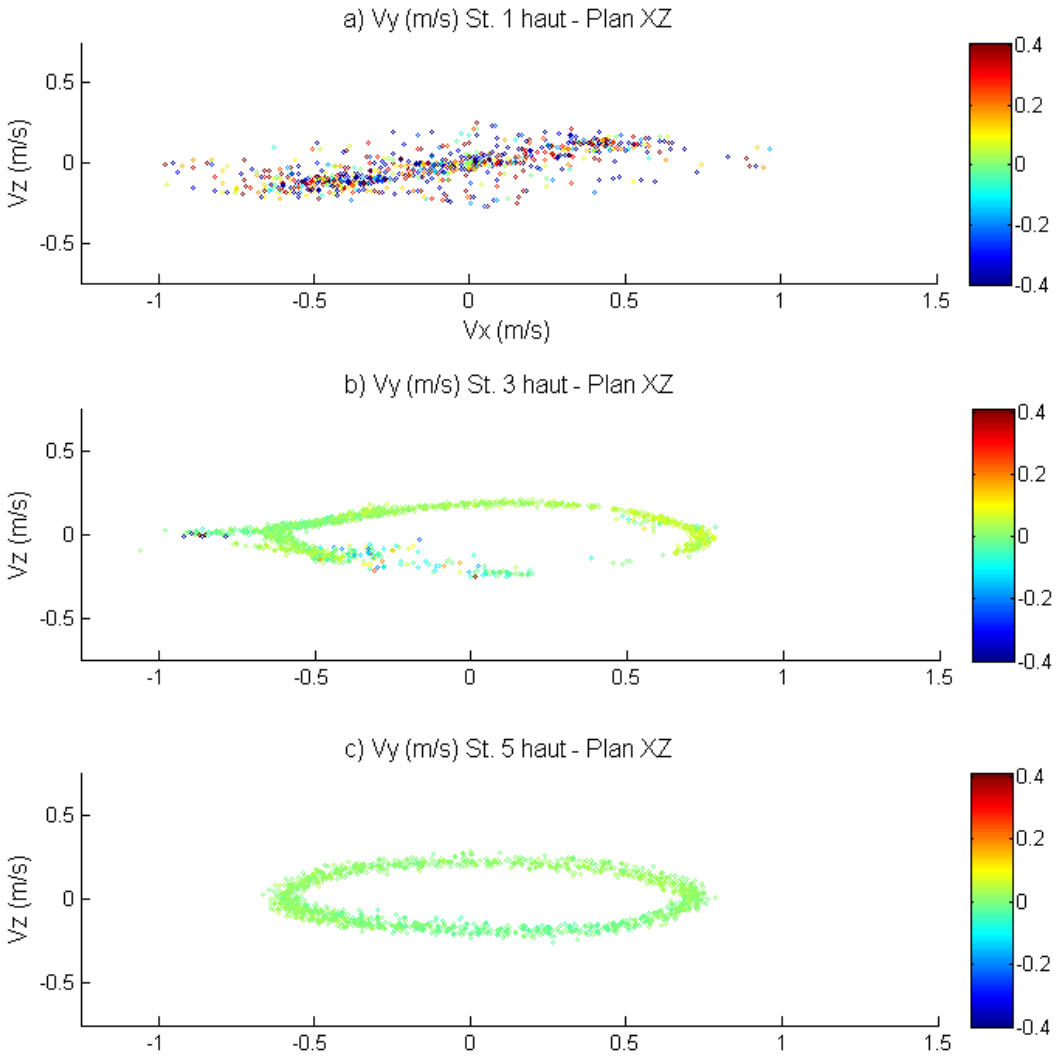


Figure 268. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino I situés en haut des quatre stations (a, b, c et d) pour une profondeur (d) de 3,5 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 6s (N=1500)

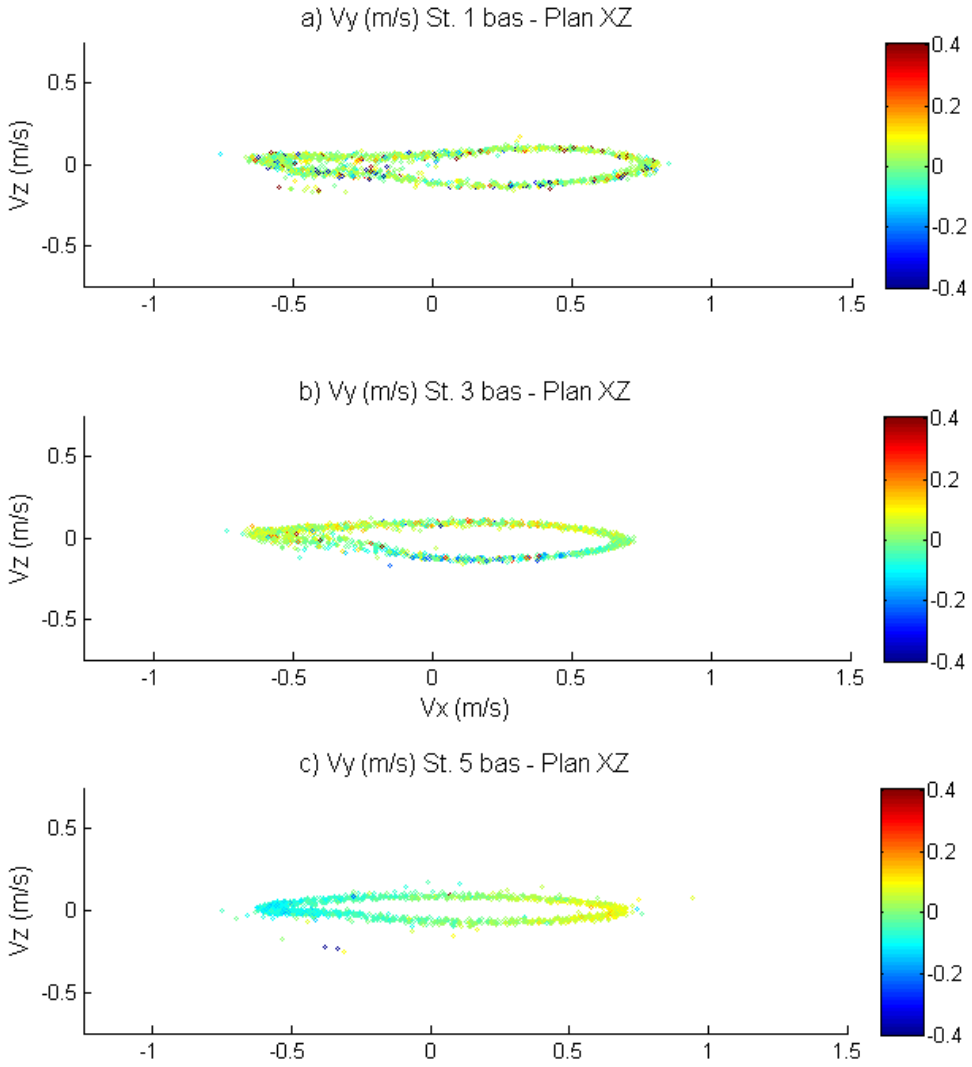


Figure 269. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino I situés au bas des quatre stations (a, b, c et d) pour une profondeur (d) de 3,5 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 6s (N=1500)

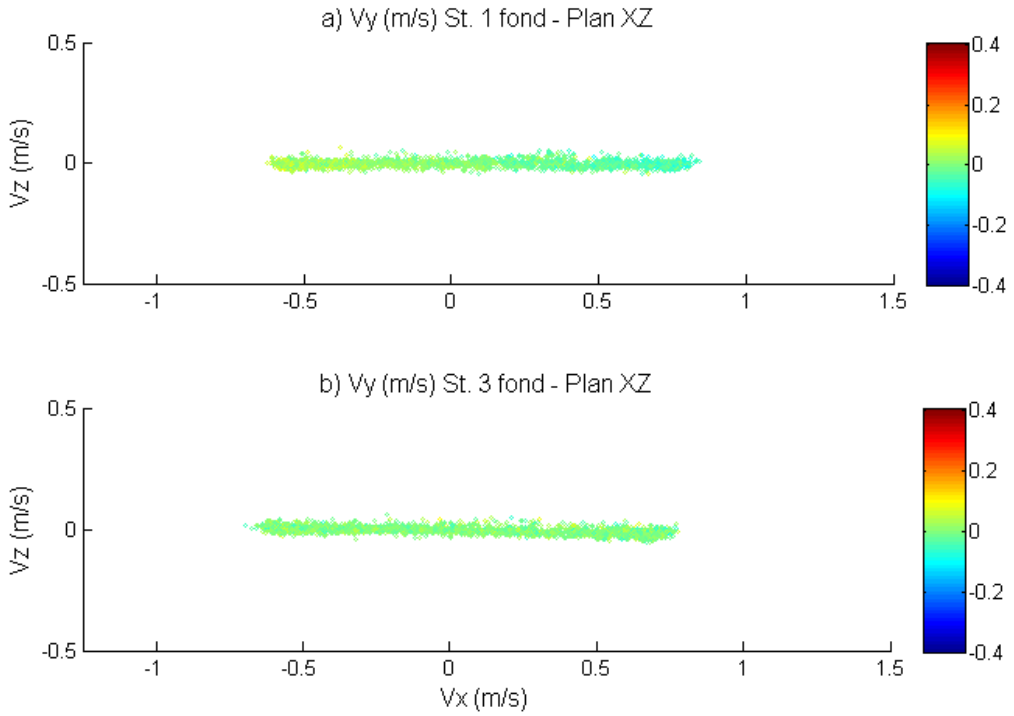


Figure 270. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino II situés au fond du canal aux stations a) 1 et b) 3 pour une profondeur (d) de 3,5 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 6 s (N=3000)

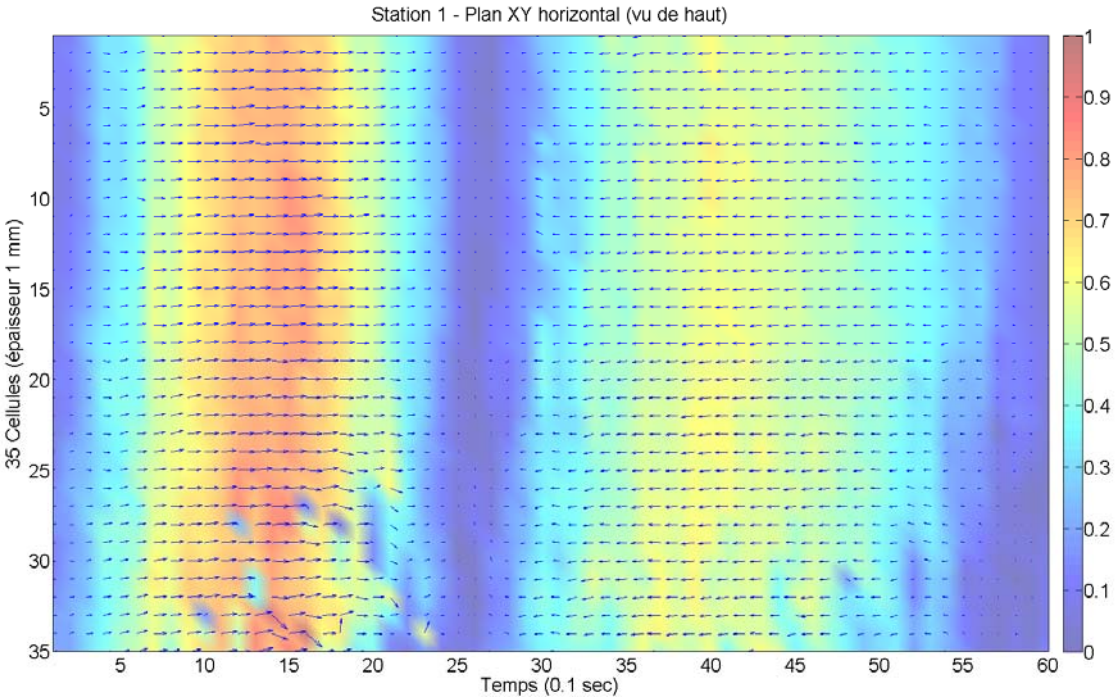


Figure 271. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XY) à la station 1 pour une profondeur (d) de 3,5 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 6 s (n = 1840 à 1899)

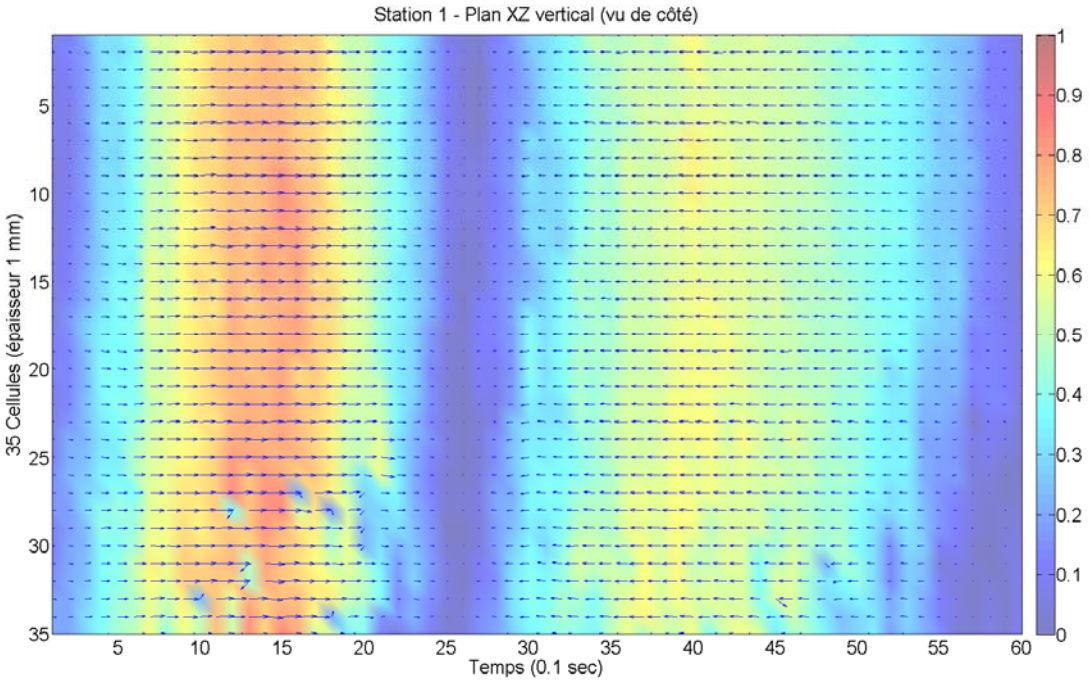


Figure 278. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XZ) à la station 1 pour une profondeur (d) de 3,5 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 6 s (n = 1840 à 1899)

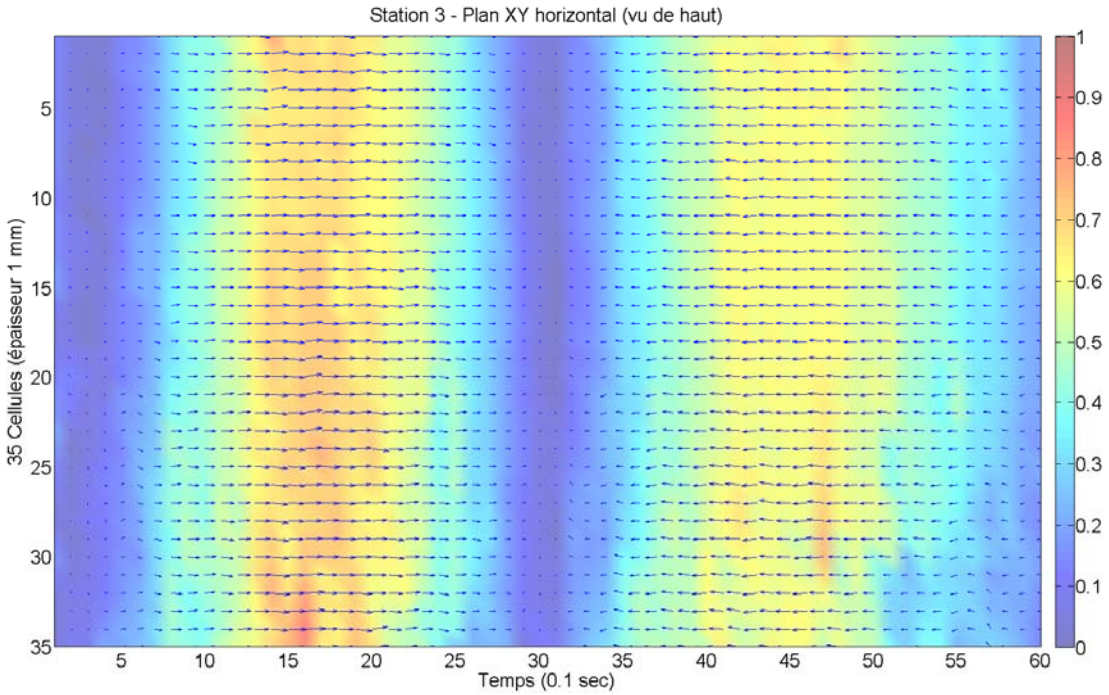


Figure 272. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XY) à la station 3 pour une profondeur (d) de 3,5 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 6 s (n = 1900 à 1959)

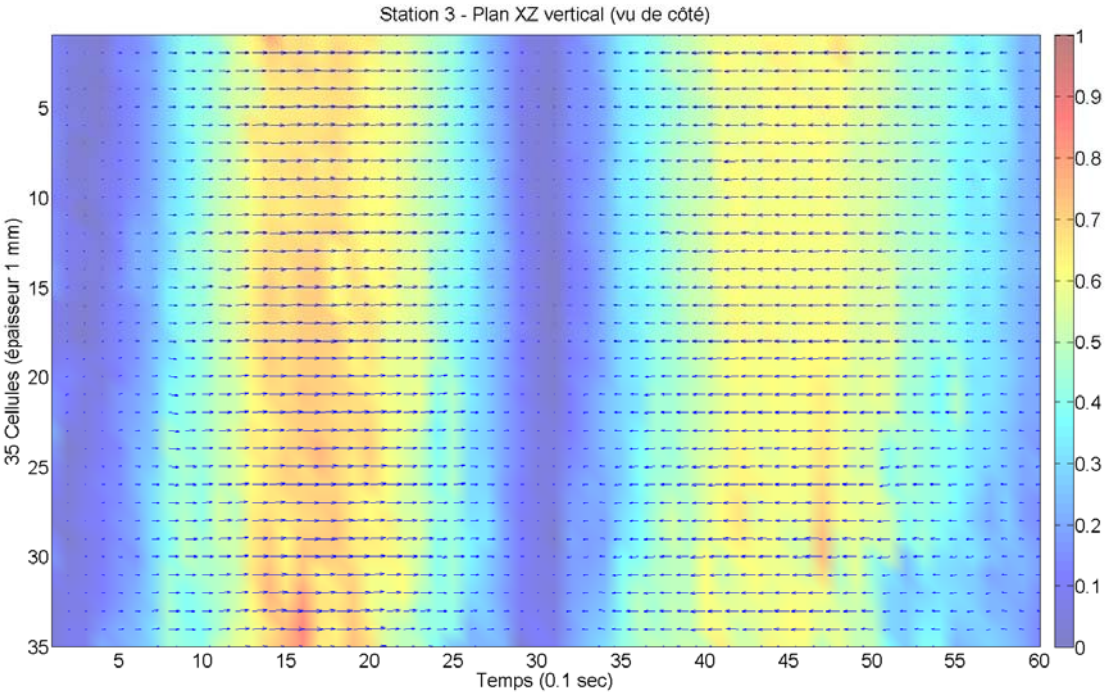


Figure 273. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XZ) à la station 3 pour une profondeur (d) de 3,5 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 6 s (n = 1900 à 1959)

Période de 10 secondes:

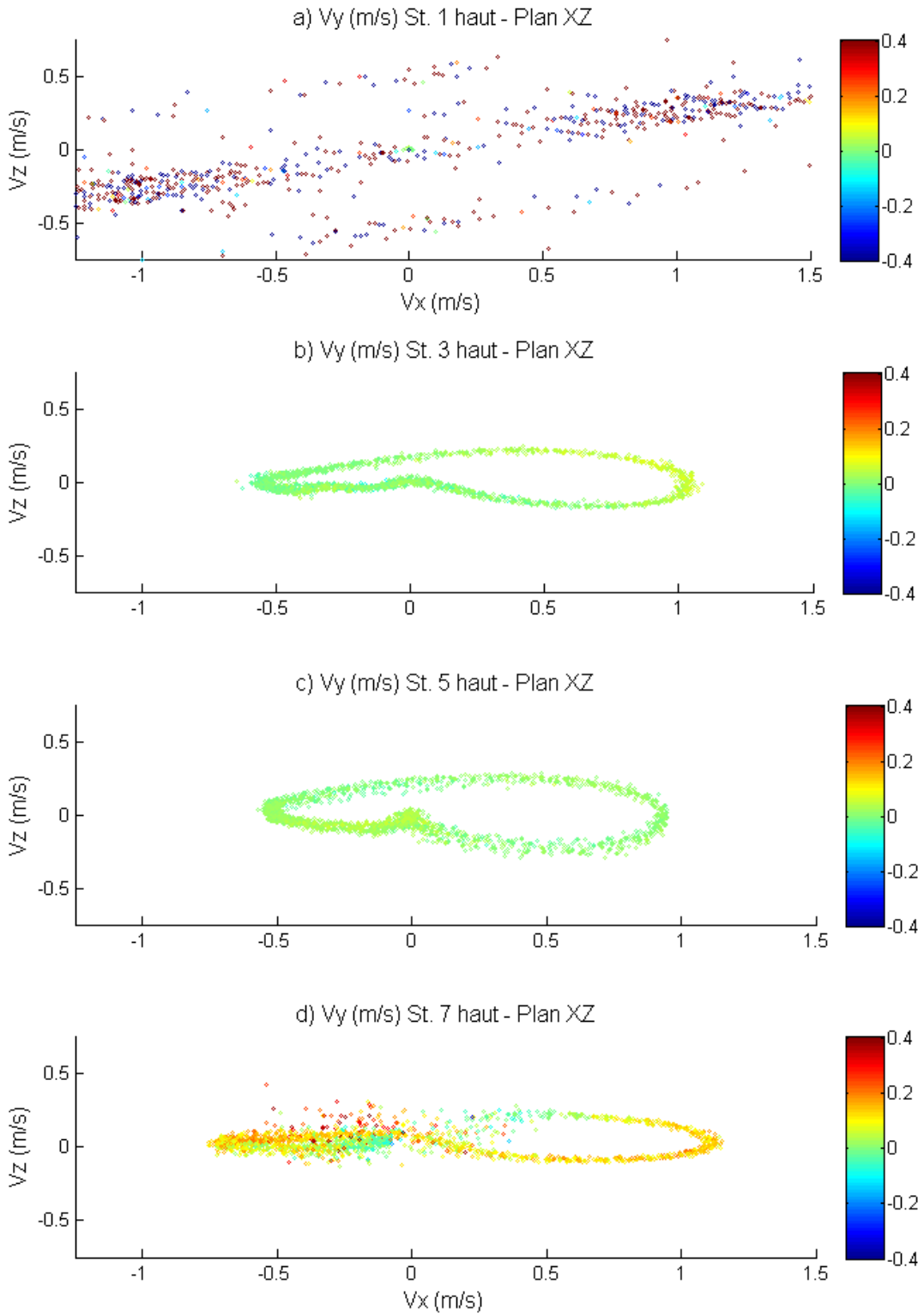


Figure 274. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino I situés en haut des quatre stations (a, b, c et d) pour une profondeur (d) de 3,5 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 10s (N=2000)

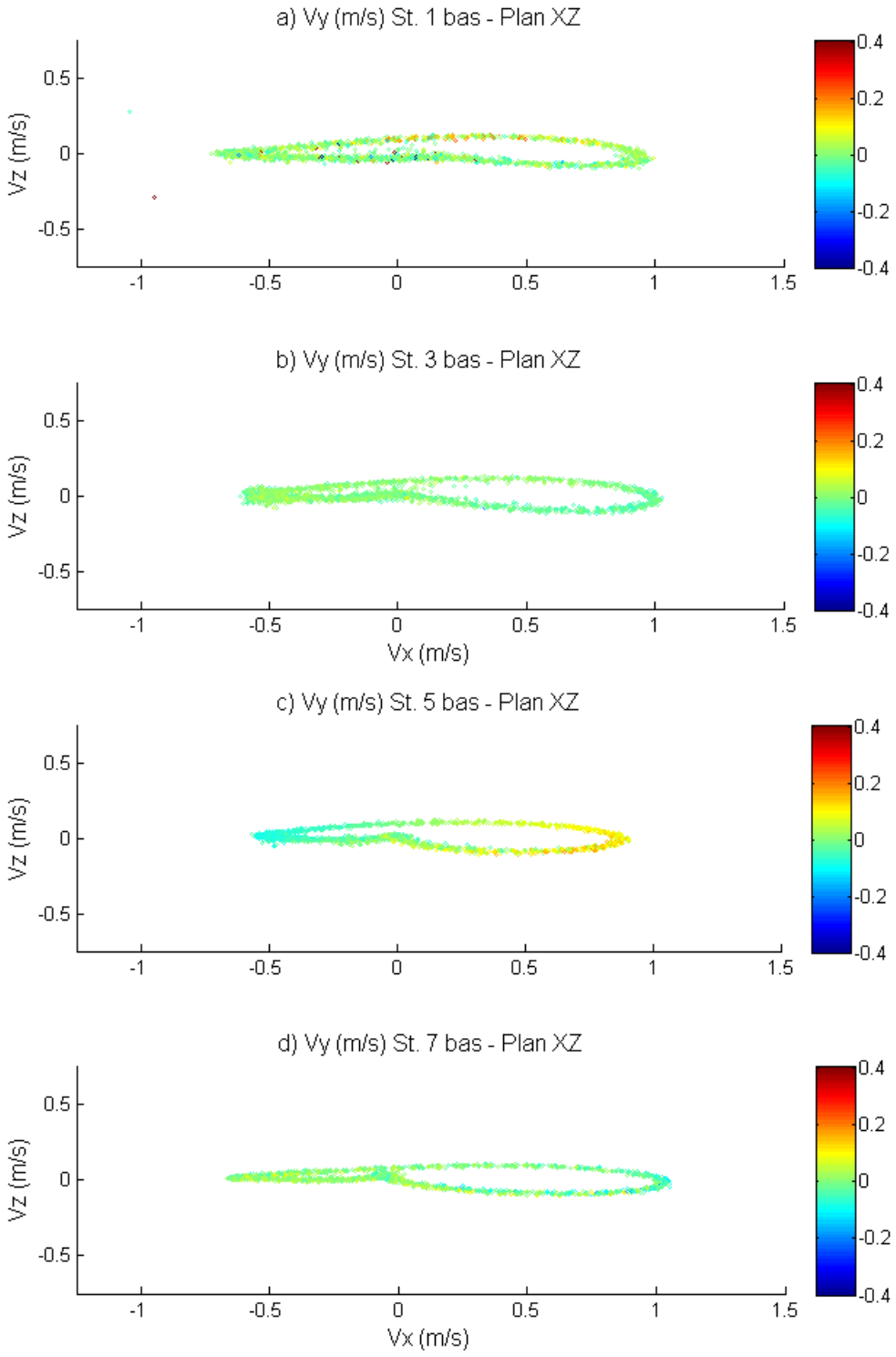


Figure 275. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino I situés au bas des quatre stations (a, b, c et d) pour une profondeur (d) de 3,5 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 10s (N=2000)

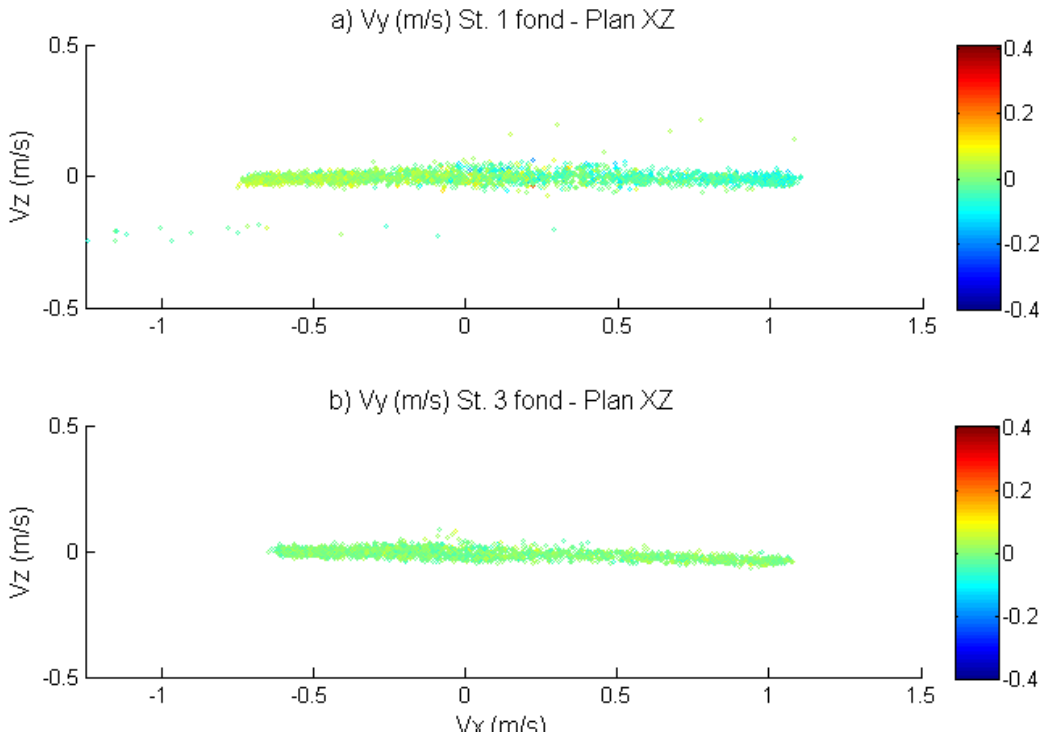


Figure 276. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino II situés au fond du canal aux stations a) 1 et b) 3 pour une profondeur (d) de 3,5 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 10s (N=2000)

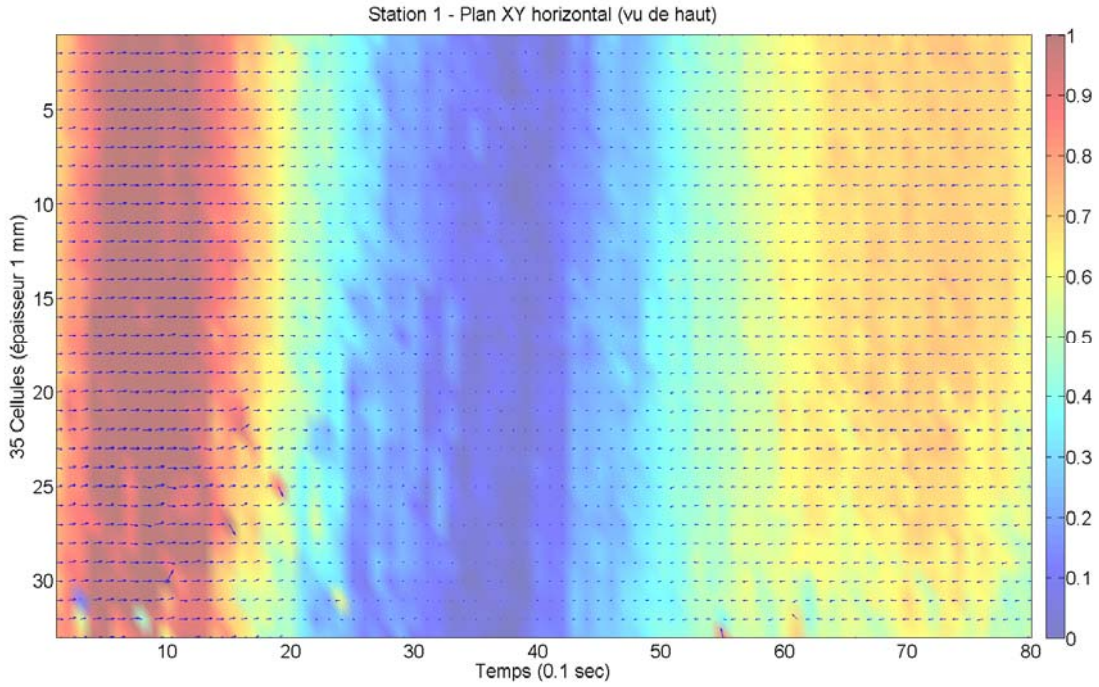


Figure 277. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XY) à la station 1 pour une profondeur (d) de 3,5 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 10 s (n = 1790 à 1869)

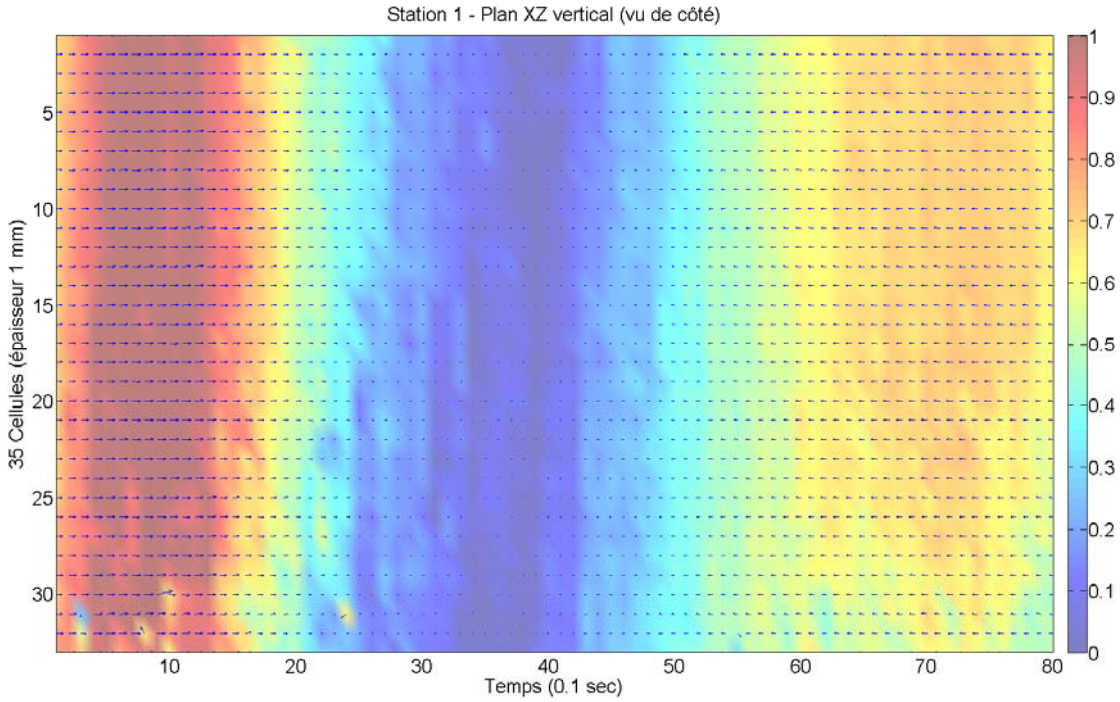


Figure 278. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XZ) à la station 1 pour une profondeur (d) de 3,5 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 10 s (n = 1790 à 1869)

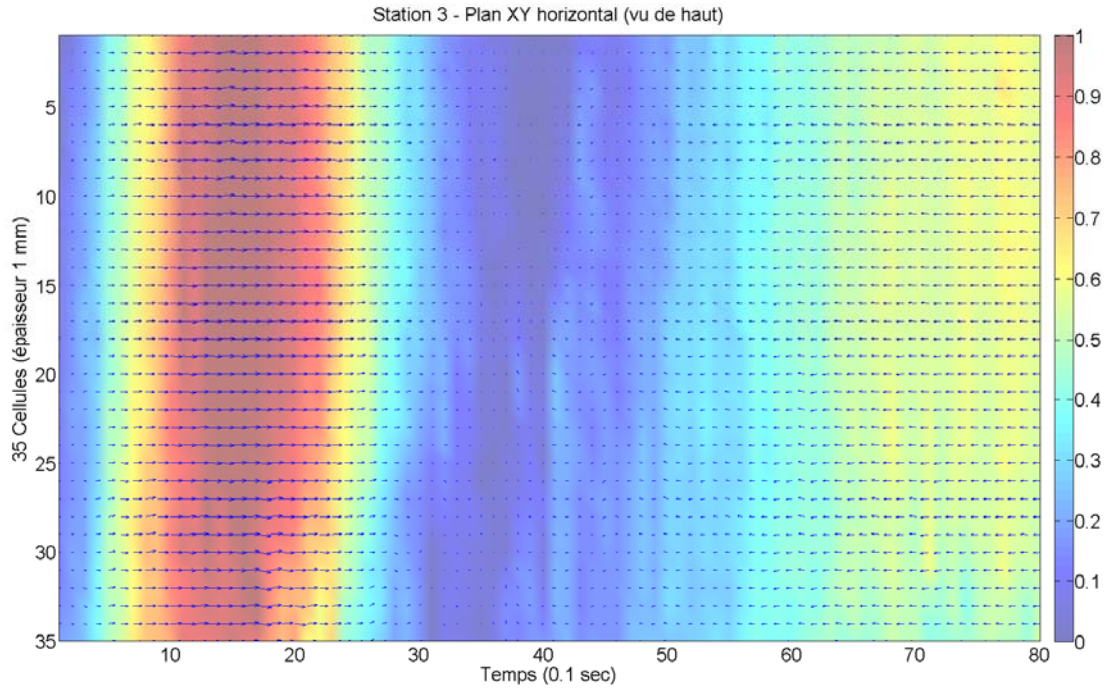


Figure 279. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XY) à la station 3 pour une profondeur (d) de 3,5 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 10 s (n = 1870 à 1949)

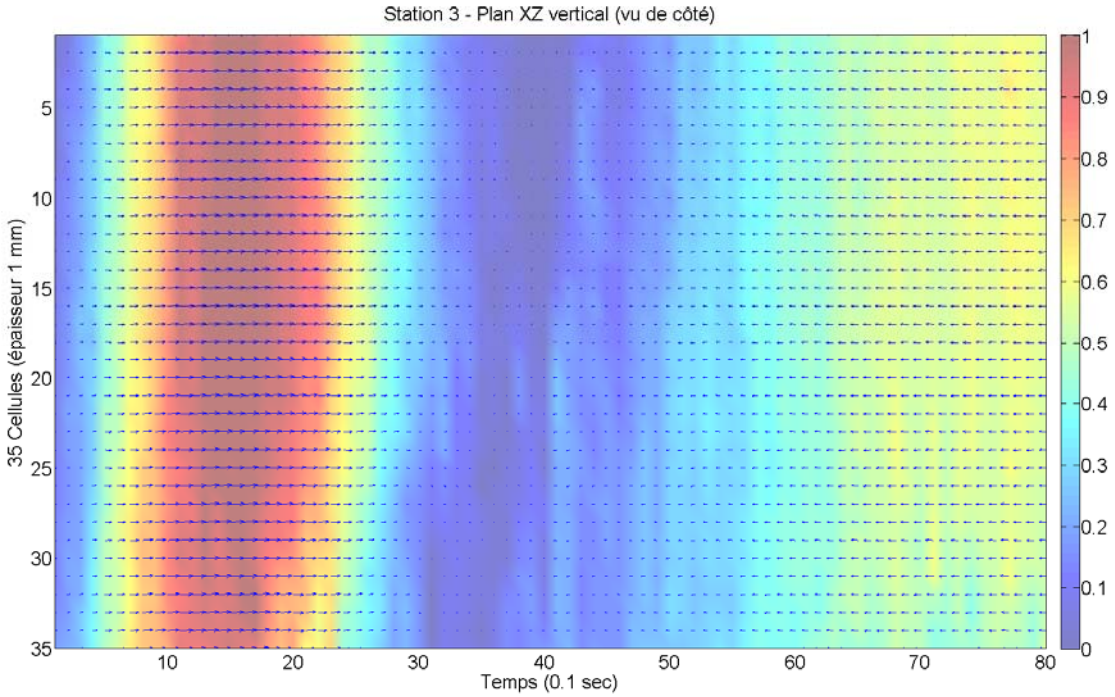


Figure 280. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XZ) à la station 3 pour une profondeur (d) de 3,5 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 10 s (n = 1870 à 1949)

Période de 12 secondes:

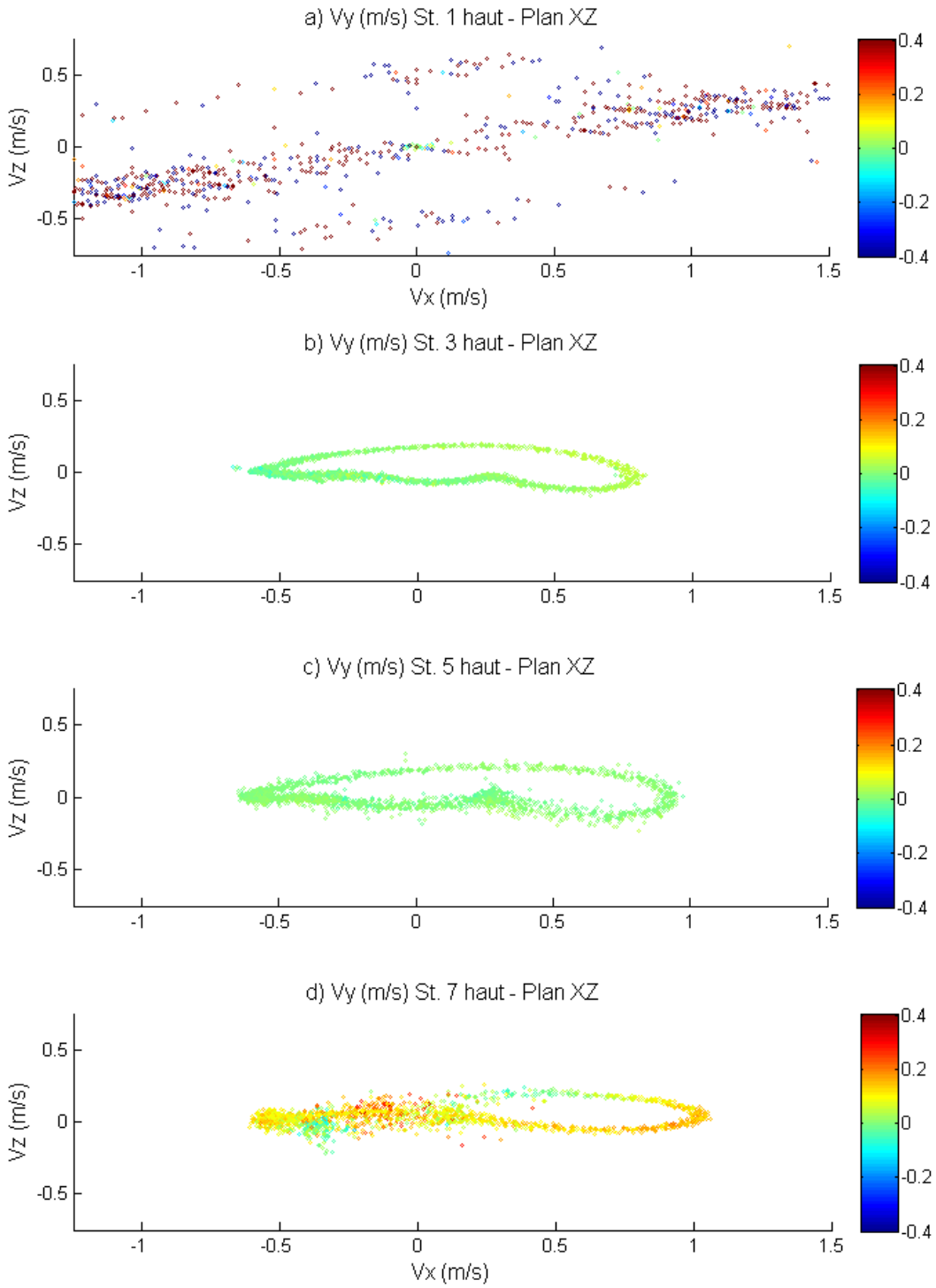


Figure 288. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino I situés en haut des quatre stations (a, b, c et d) pour une profondeur (d) de 3,5 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 12s (N=2000)

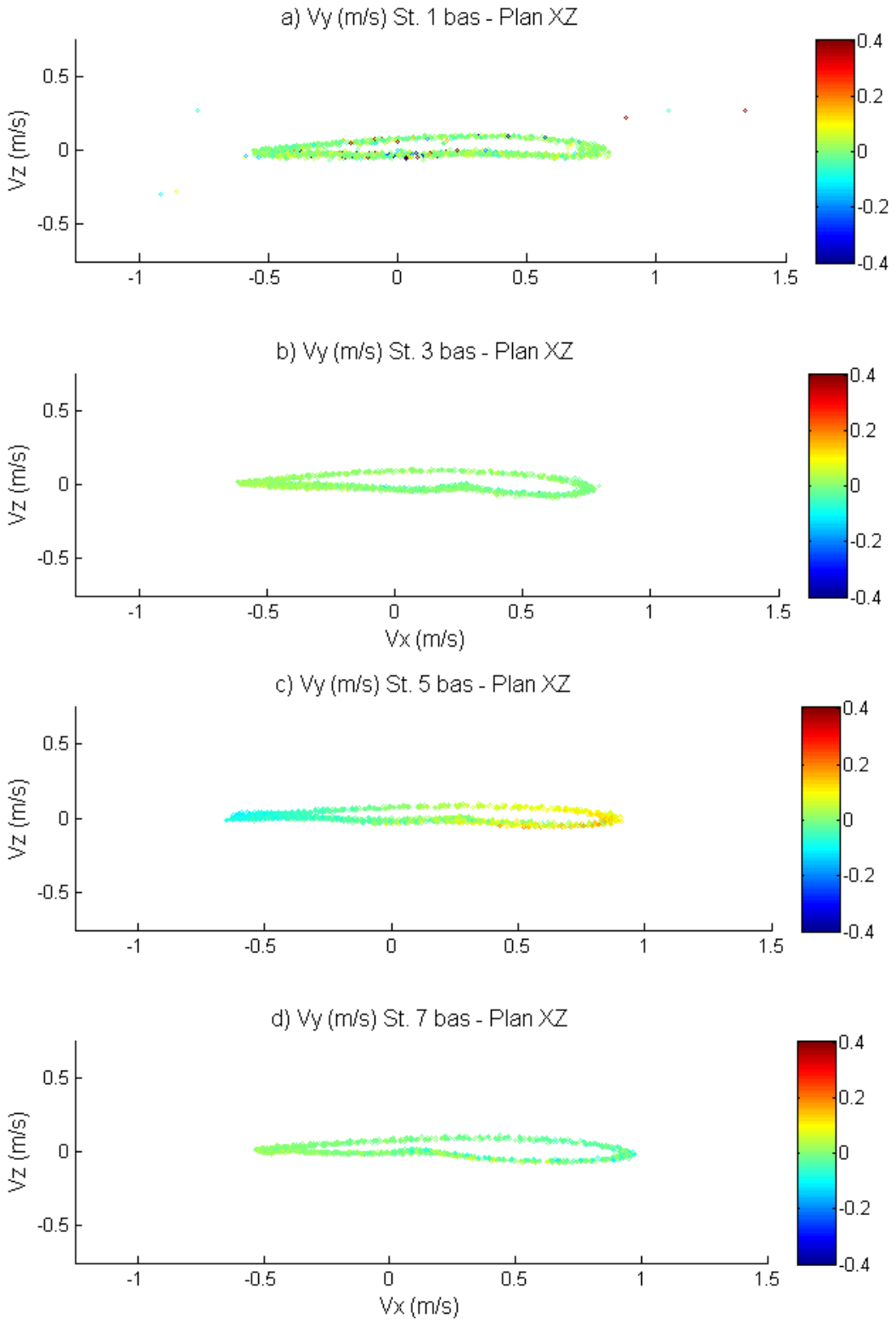


Figure 281. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino I situés au bas des quatre stations (a, b, c et d) pour une profondeur (d) de 3,5 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 12s (N=2000)

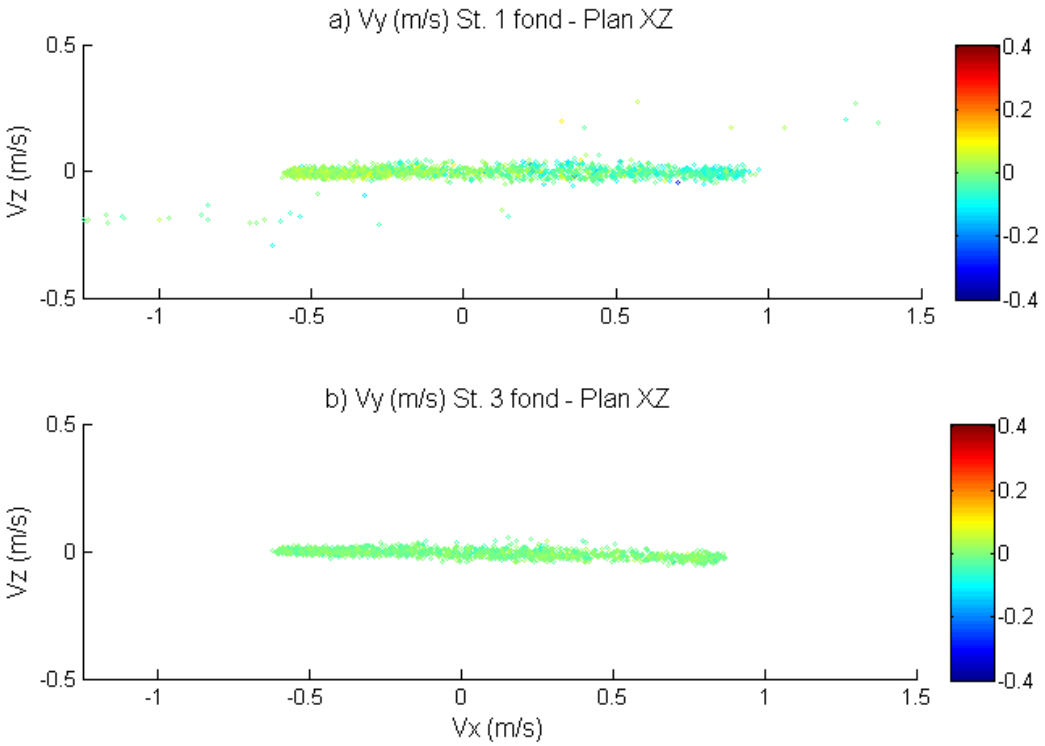


Figure 282. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino II situés au fond du canal aux stations a) 1 et b) 3 pour une profondeur (d) de 3,5 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 12 s (N=2000)

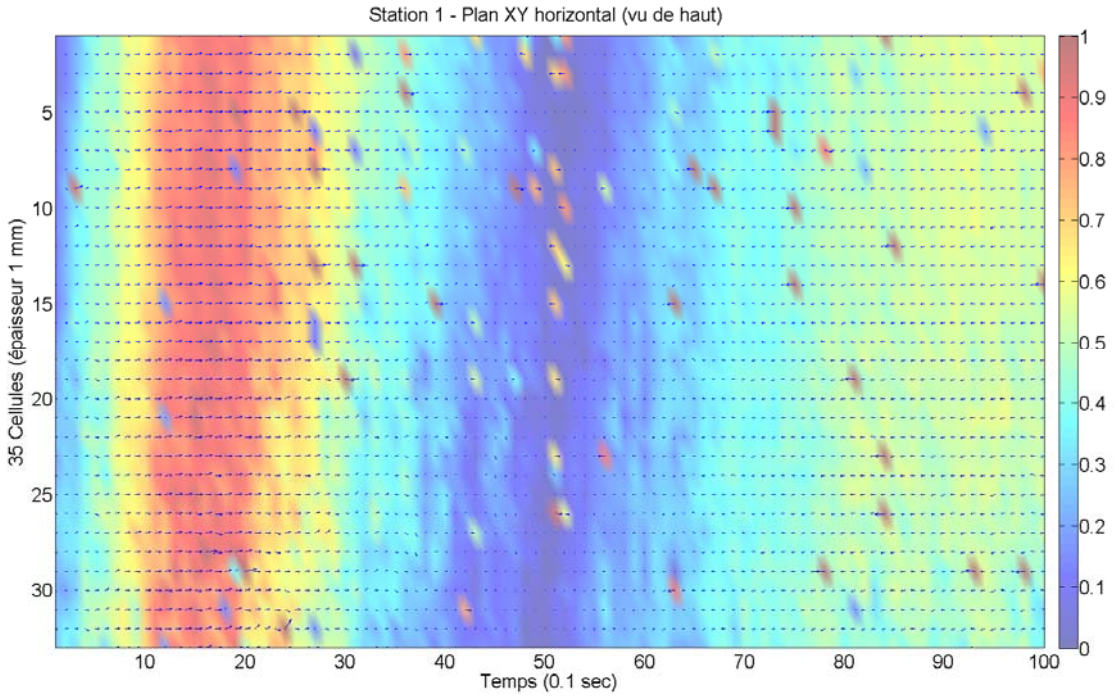


Figure 283. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XY) à la station 1 pour une profondeur (d) de 3,5 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 12 s (n = 2825 à 2924)

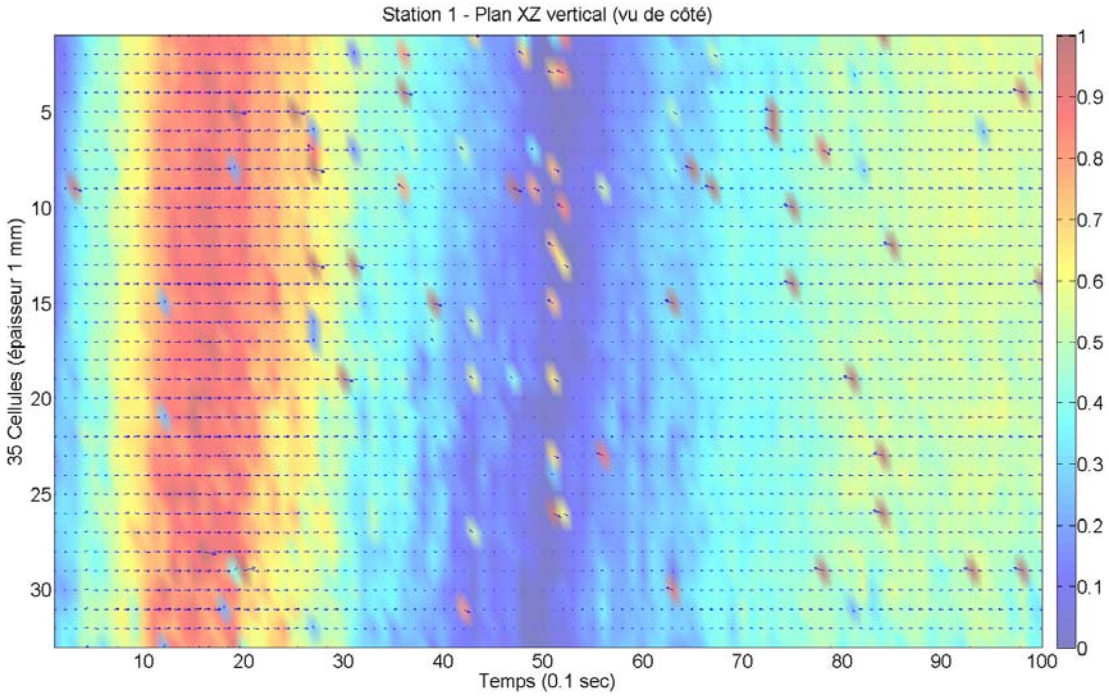


Figure 284. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XZ) à la station 1 pour une profondeur (d) de 3,5 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 12 s (n = 2825 à 2924)

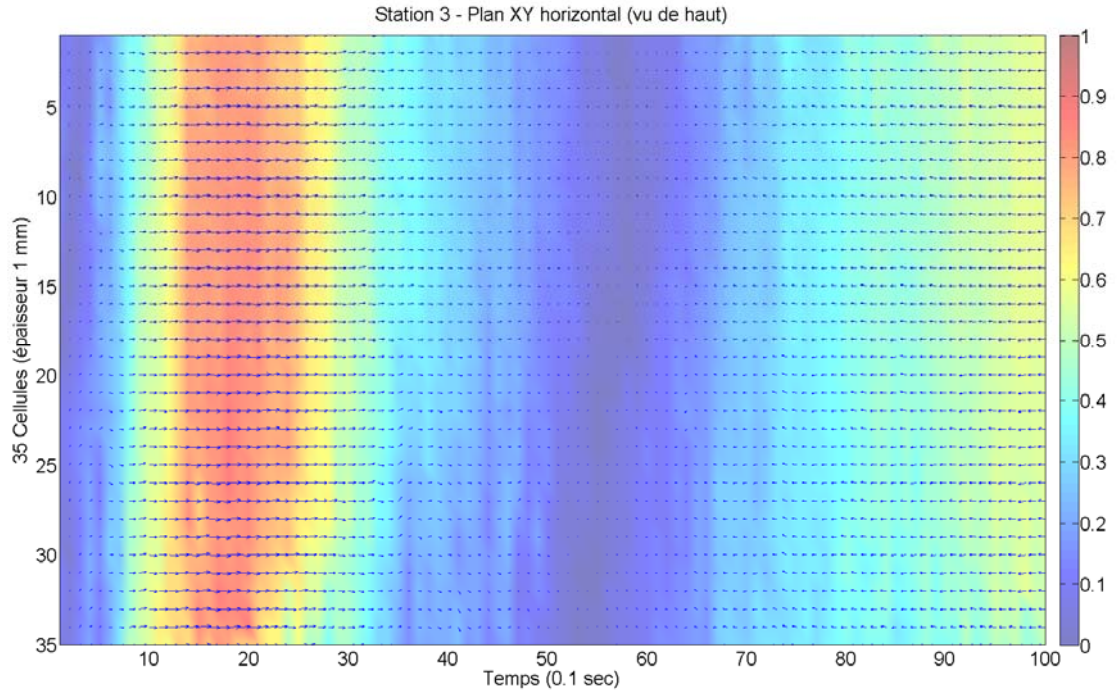


Figure 285. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XY) à la station 3 pour une profondeur (d) de 3,5 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 12 s (n = 2935 à 3034)

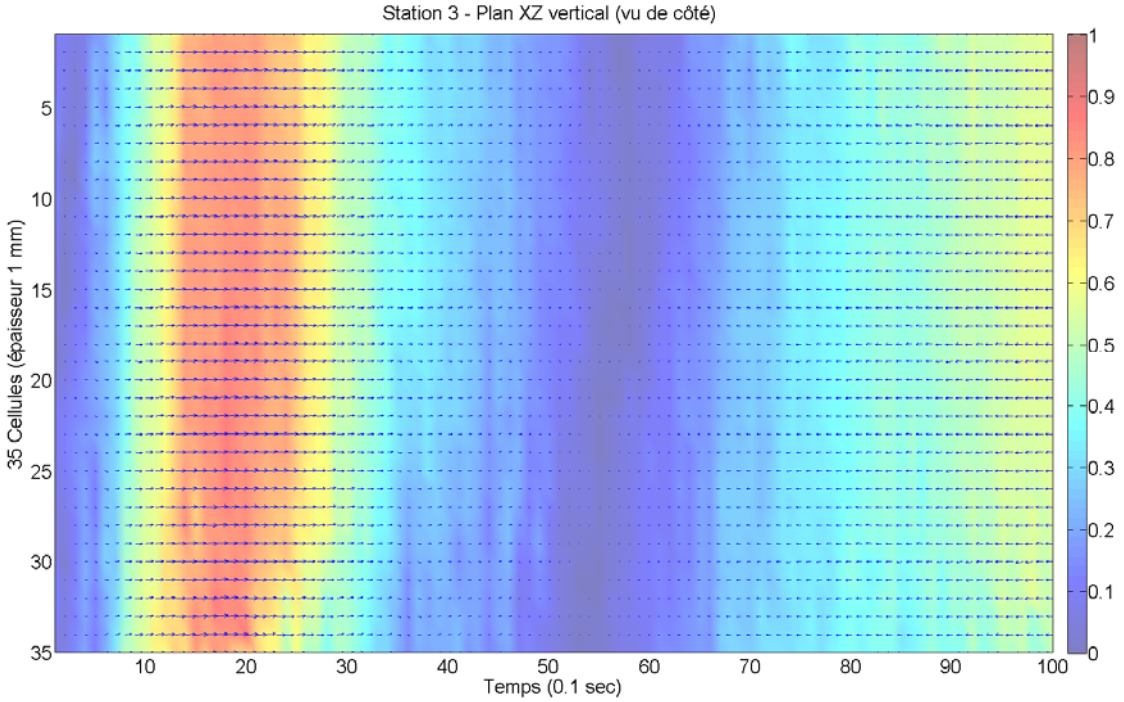


Figure 286. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XZ) à la station 3 pour une profondeur (d) de 3,5 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 12 s (n = 2935 à 3034)

5.2.9 Profondeur d'eau (d) de 3,5 mètres et hauteur de vague (H) de 1,5 mètre

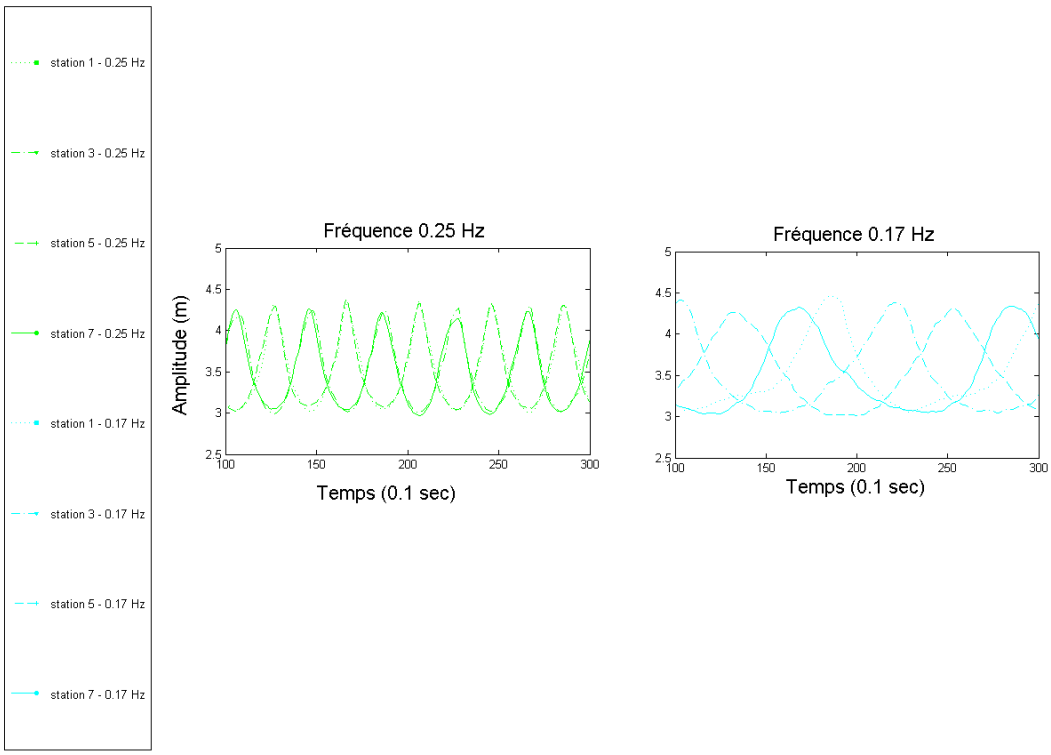


Figure 287. Niveaux d'eau enregistrés aux stations 1, 3, 5 et 7 pour une profondeur d'eau de 3,5 mètres, des vagues de 1,5 mètre de hauteur et des périodes de 4 et 6 secondes respectivement.

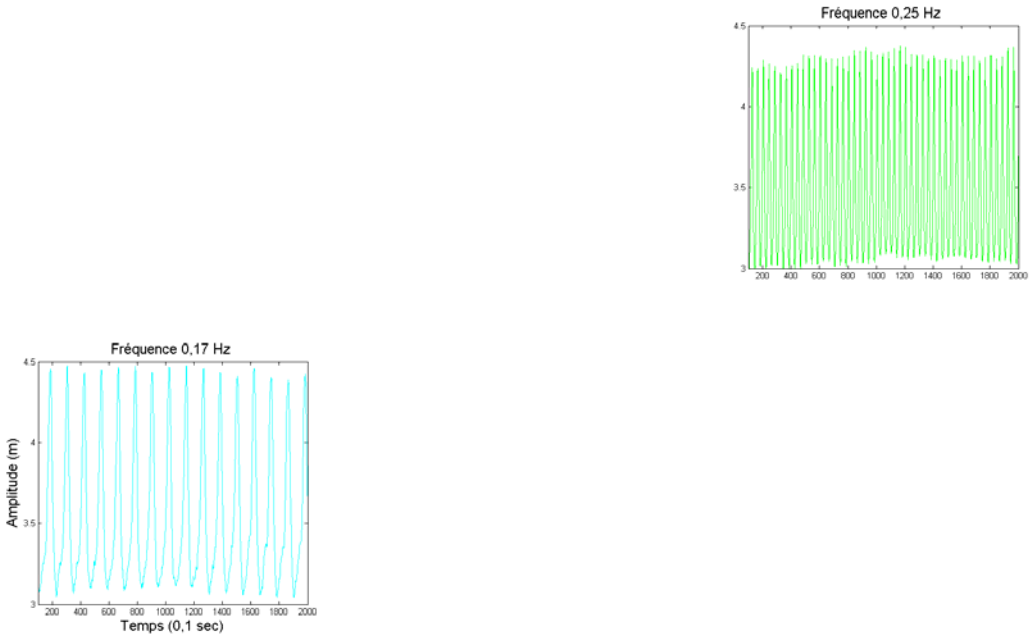


Figure 288. Niveaux d'eau enregistrés à la station 7 pour une profondeur d'eau de 3,5 mètres, des vagues de 1,5 mètre de hauteur et des périodes de 4 et 6secondes respectivement.

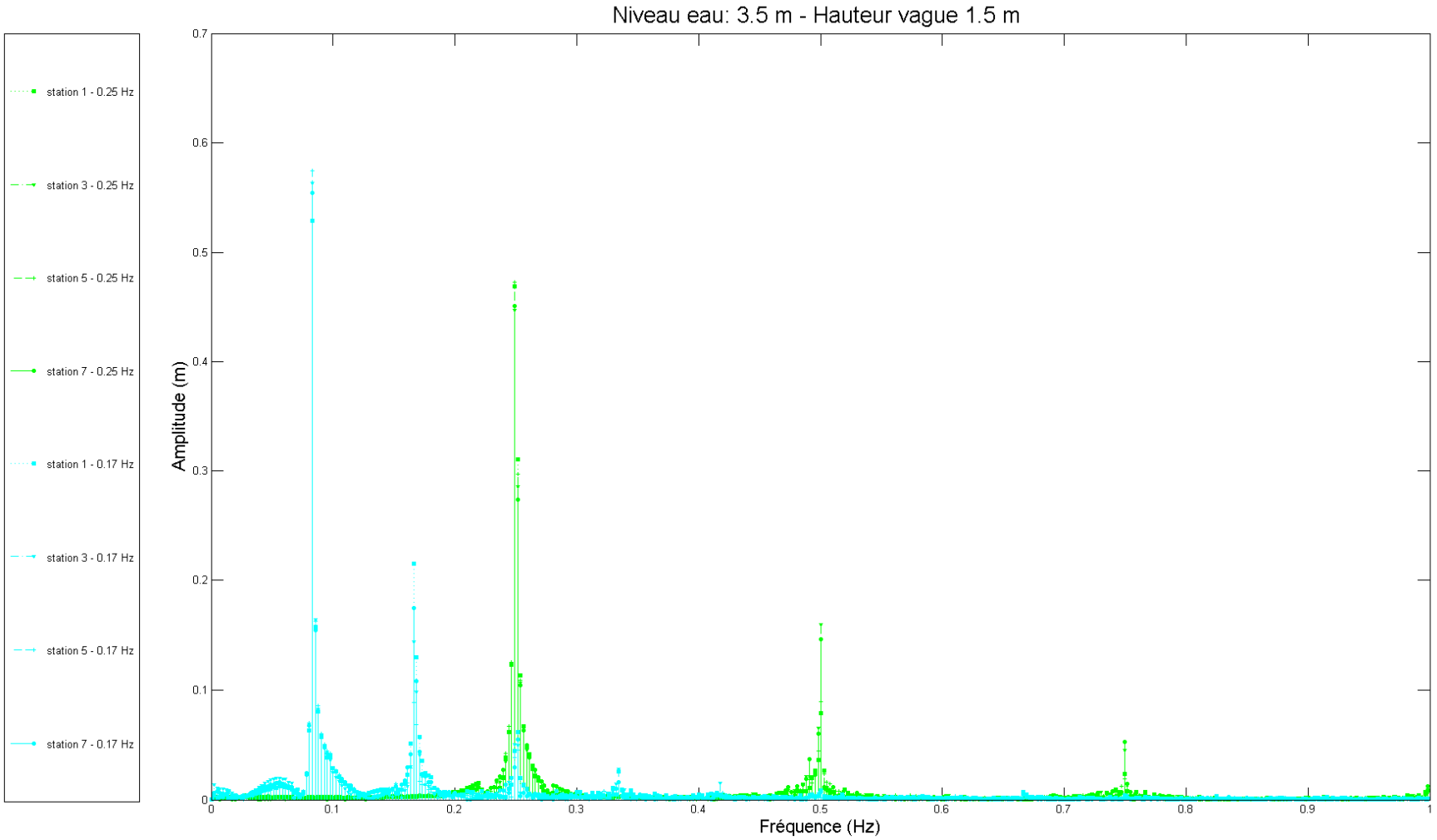


Figure 289. Transformée de Fourier: Résultats de l'analyse spectrale pour une profondeur d'eau de 3,5 m et une hauteur de vague de 1,5 m en fonction des différentes périodes de 4 s (0,25 Hz) et 6 s (0,17 Hz) pour les quatre stations d'échantillonnage du canal

Période de 4 secondes:

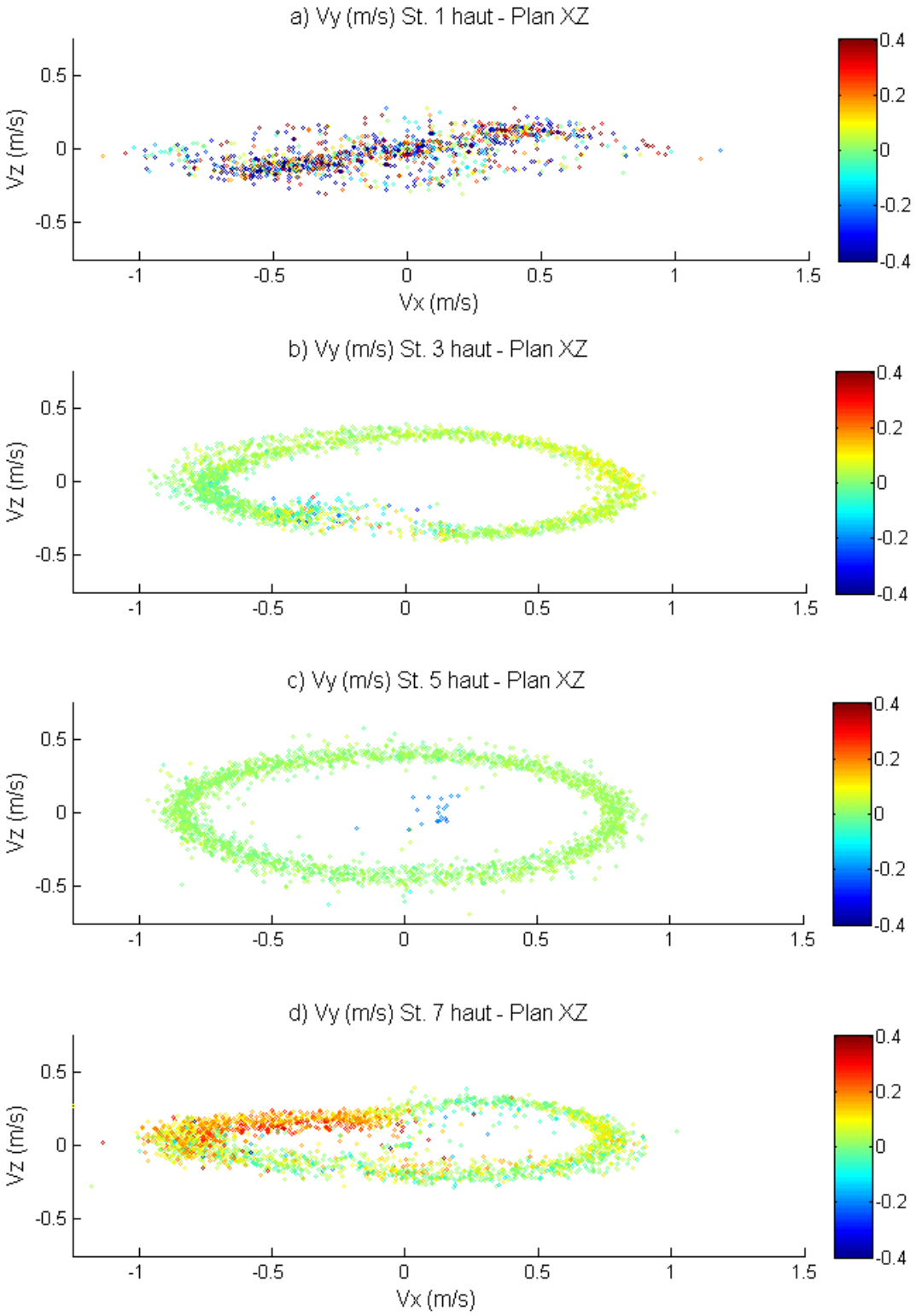


Figure 290. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino I situés en haut des quatre stations (a, b, c et d) pour une profondeur (d) de 3,5 m, une hauteur de vague (H) de 1,5 m et une période (T) de 4s (N=2500)

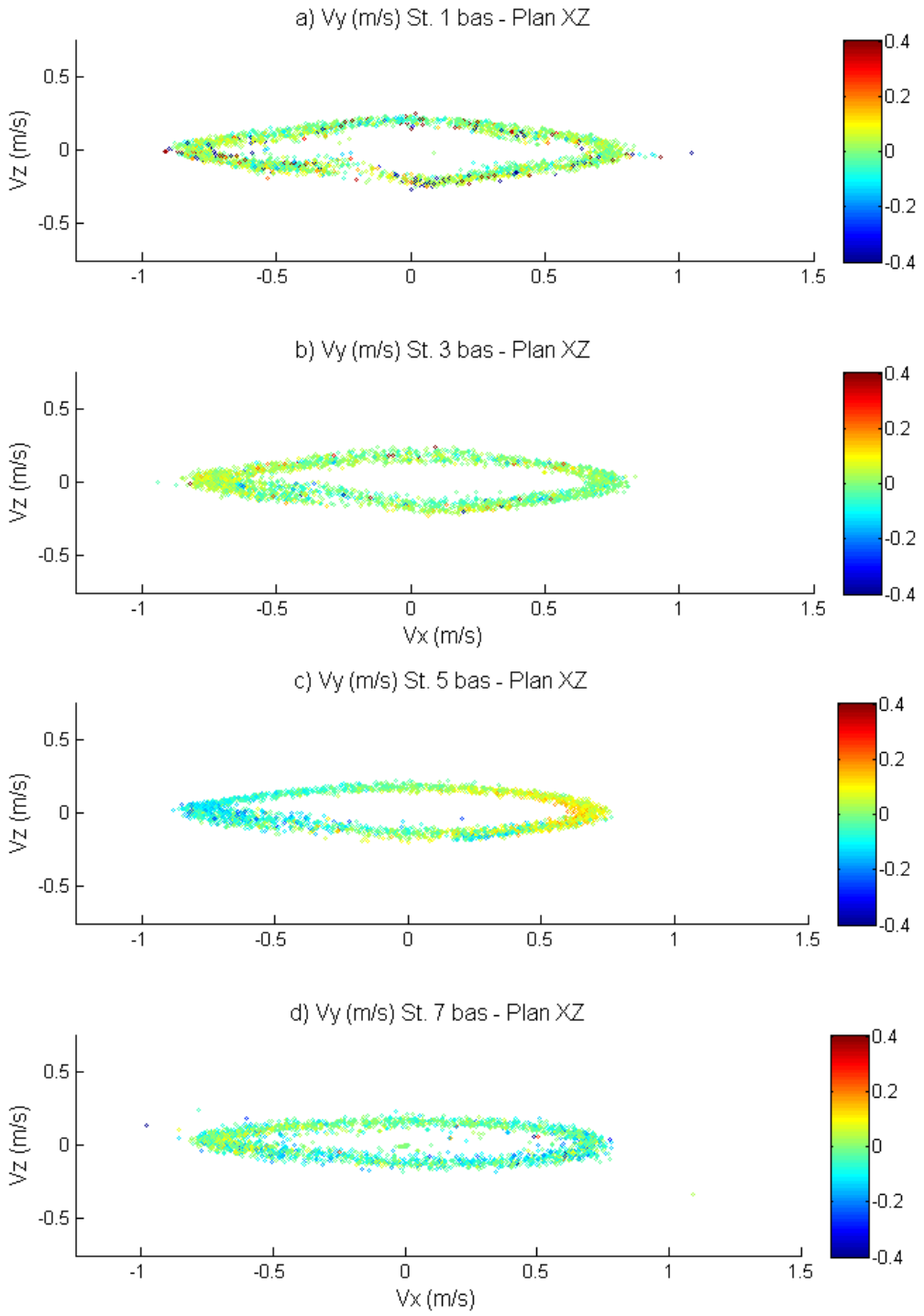


Figure 291. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino I situés en haut des quatre stations (a, b, c et d) pour une profondeur (d) de 3,5 m, une hauteur de vague (H) de 1,5 m et une période (T) de 4s (N=2500)

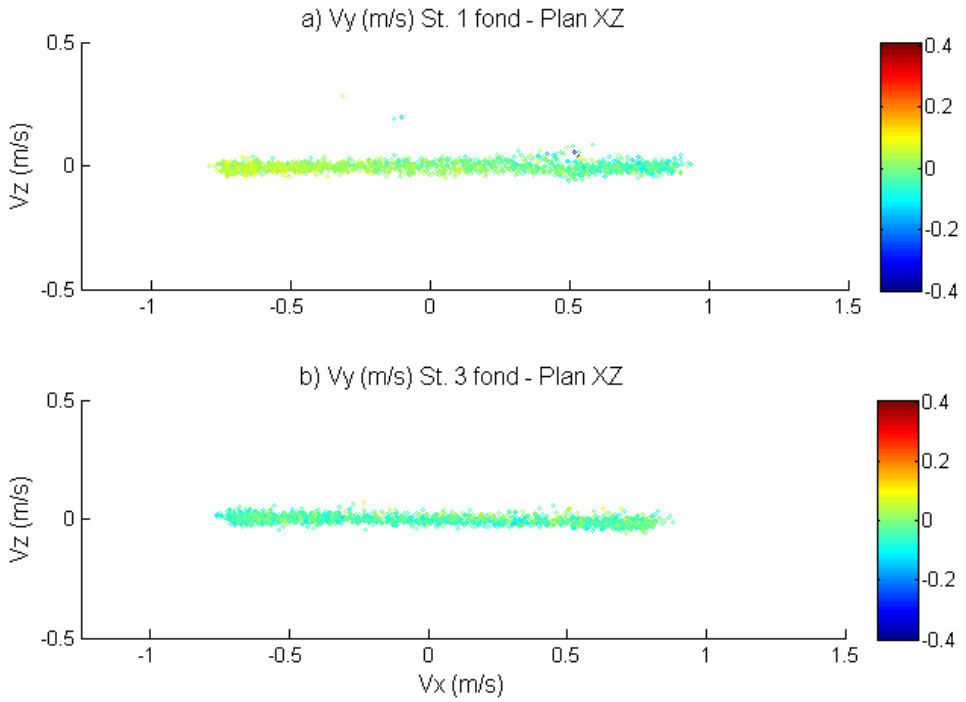


Figure 292. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino II situés au fond du canal aux stations a) 1 et b) 3 pour une profondeur (d) de 3,5 m, une hauteur de vague (H) de 1,5 m et une période (T) de 4 s (N=2000)

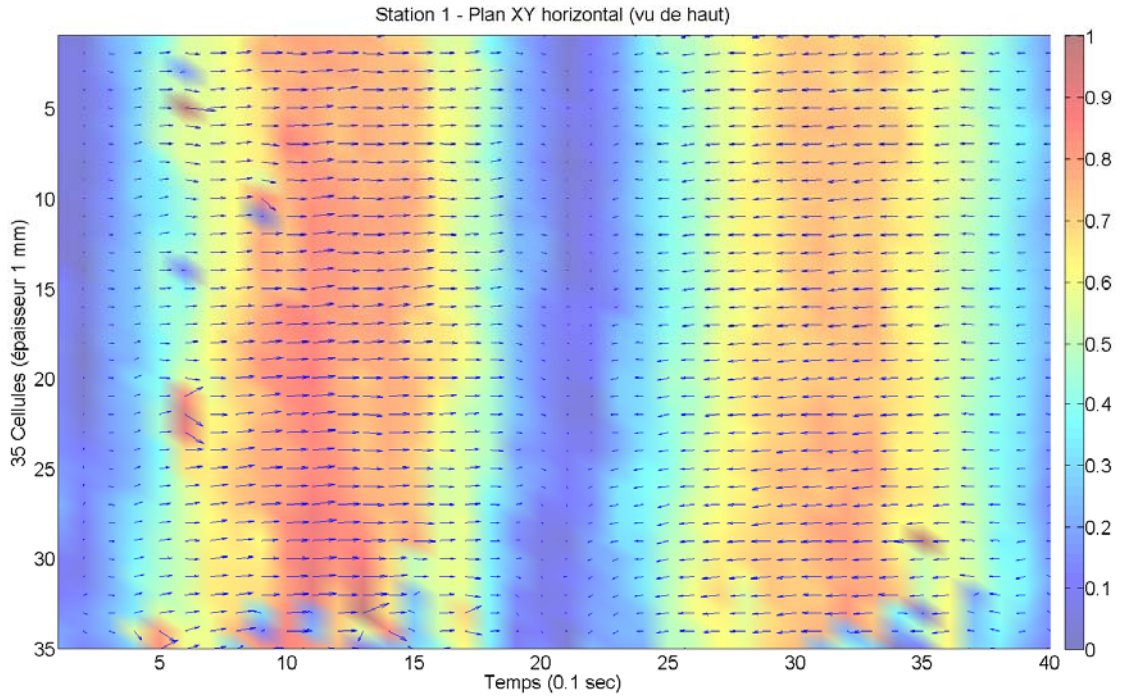


Figure 293. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XY) à la station 1 pour une profondeur (d) de 3,5 m, une hauteur de vague (H) de 1,5 m et une période (T) de 4 s (n = 2495 à 2534)

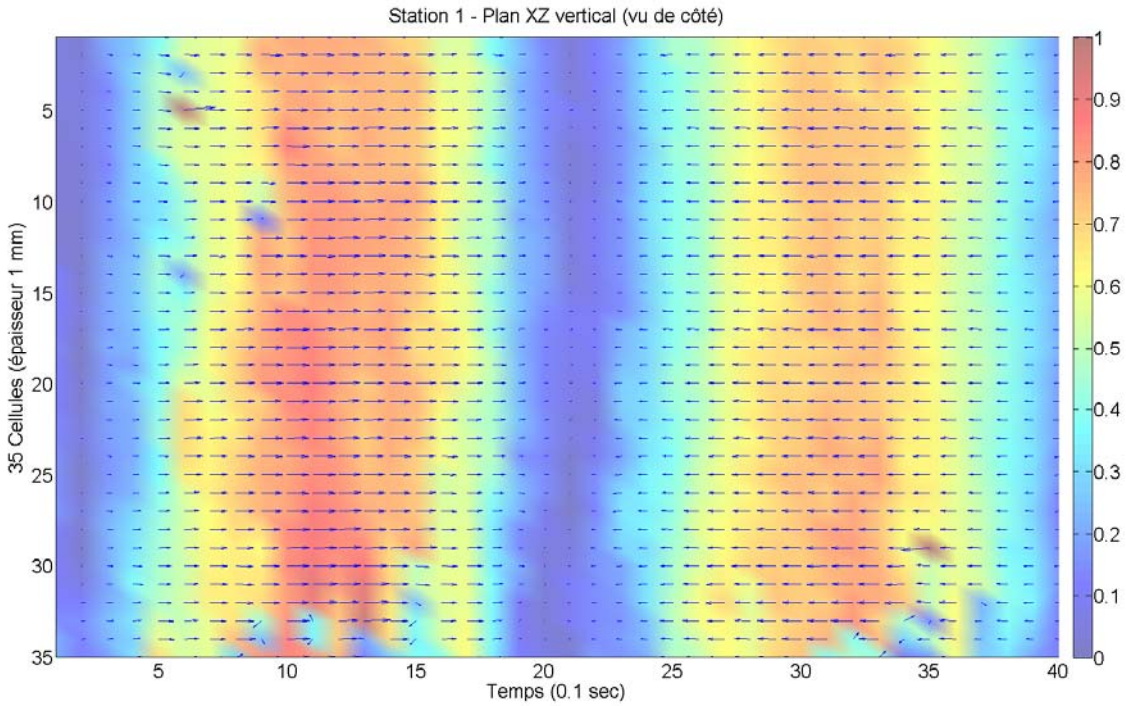


Figure 294. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XZ) à la station 1 pour une profondeur (d) de 3,5 m, une hauteur de vague (H) de 1,5 m et une période (T) de 4 s (n = 2495 à 2534)

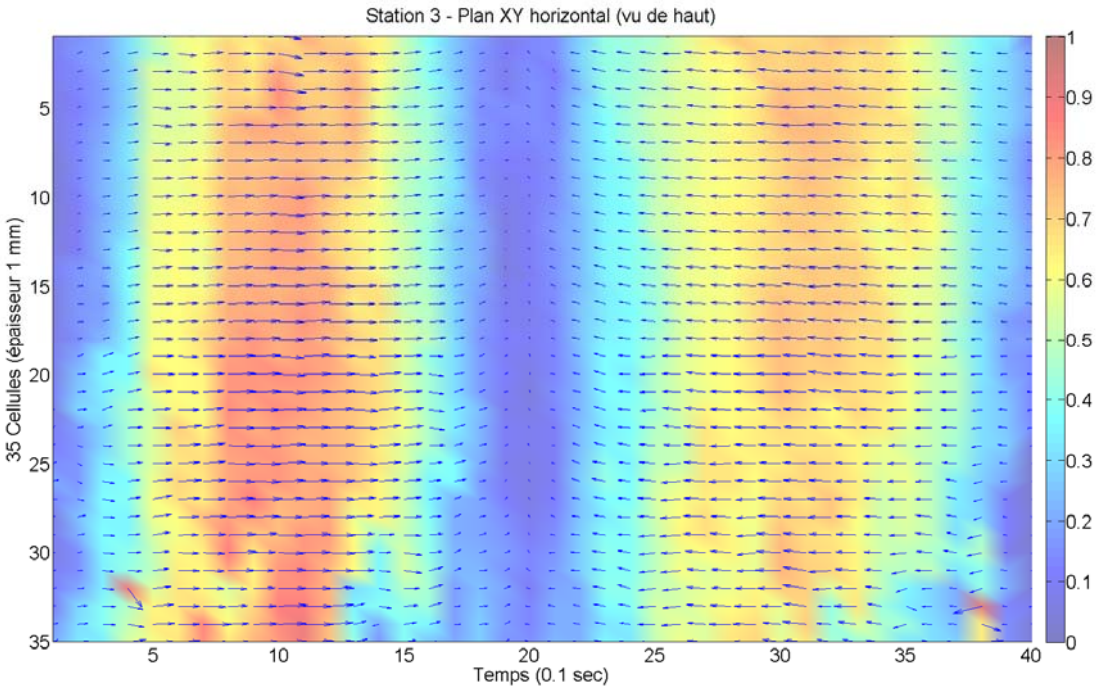


Figure 295. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XY) à la station 3 pour une profondeur (d) de 3,5 m, une hauteur de vague (H) de 1,5 m et une période (T) de 4 s (n = 2520 à 2559)

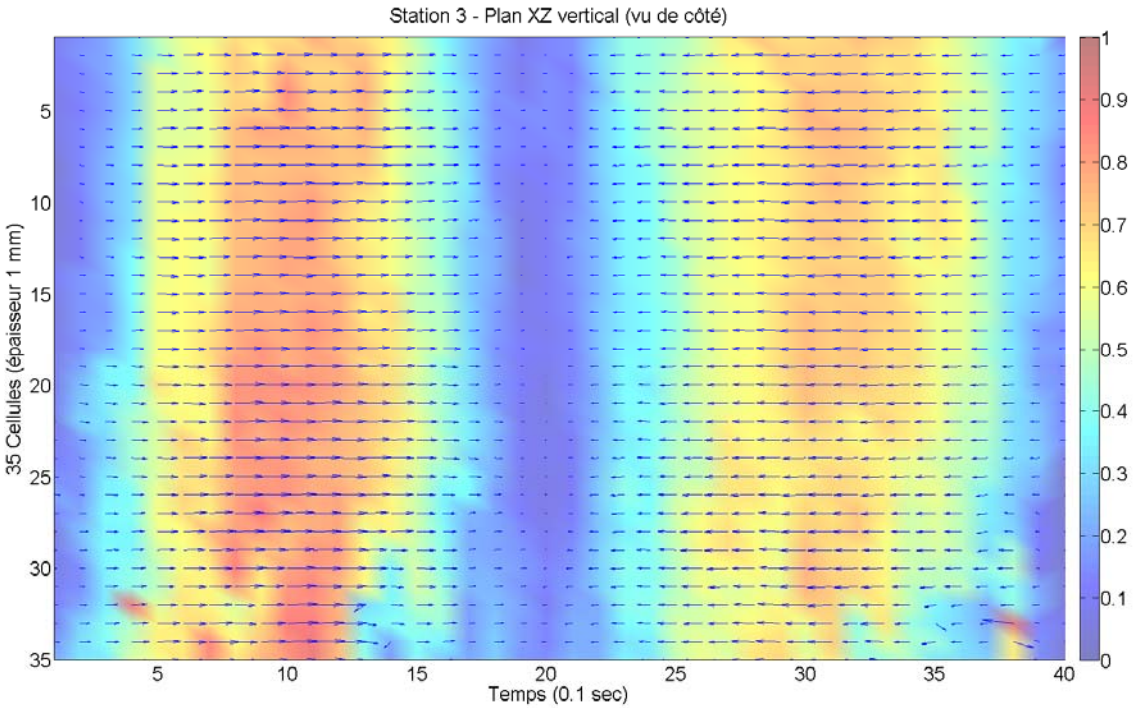


Figure 296. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XZ) à la station 3 pour une profondeur (d) de 3,5 m, une hauteur de vague (H) de 1,5 m et une période (T) de 4 s (n = 2520 à 2559)

Période de 6 secondes:

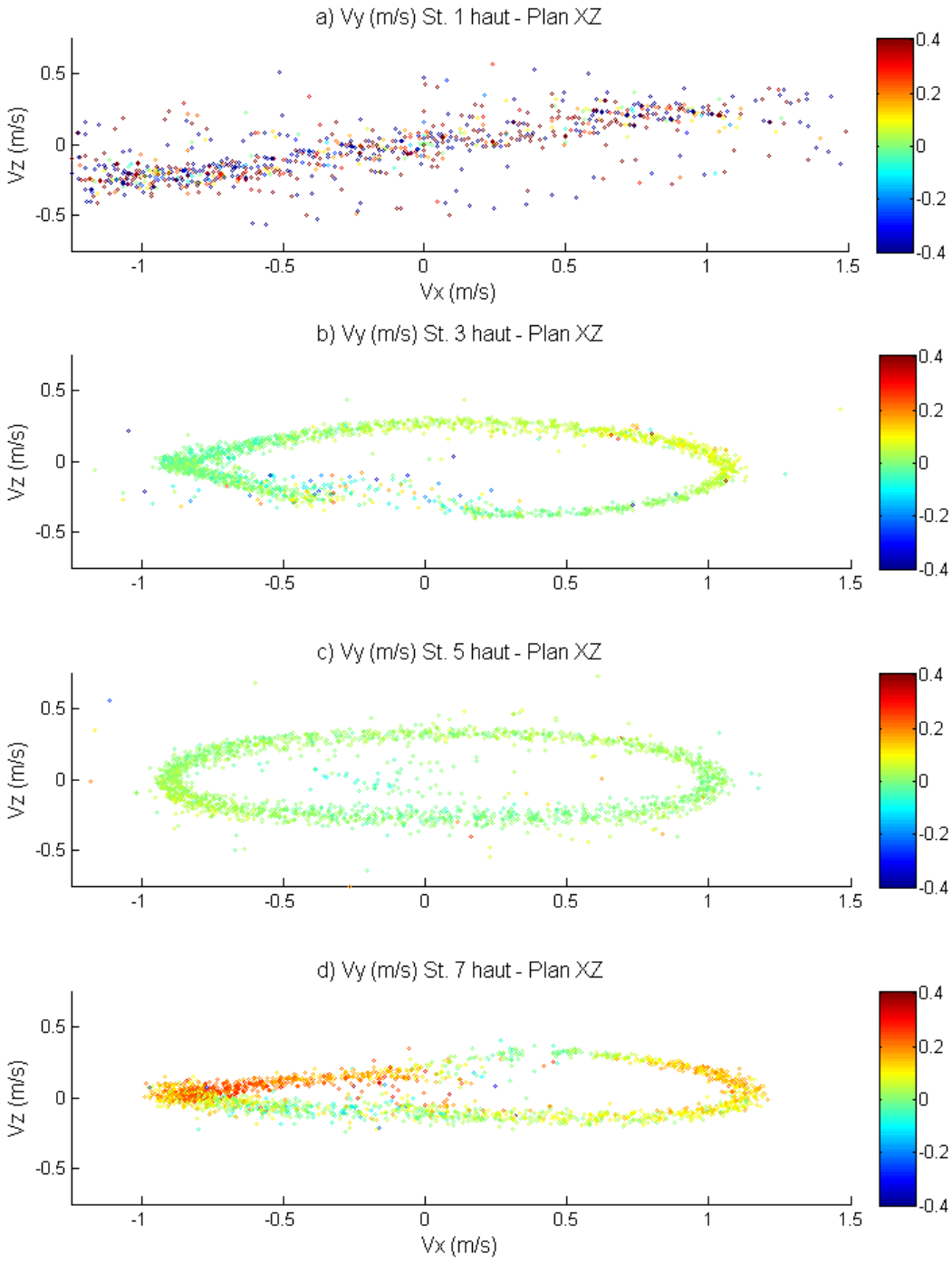


Figure 297. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino I situés en haut des quatre stations (a, b, c et d) pour une profondeur (d) de 3,5 m, une hauteur de vague (H) de 1,5 m et une période (T) de 6s (N=2000)

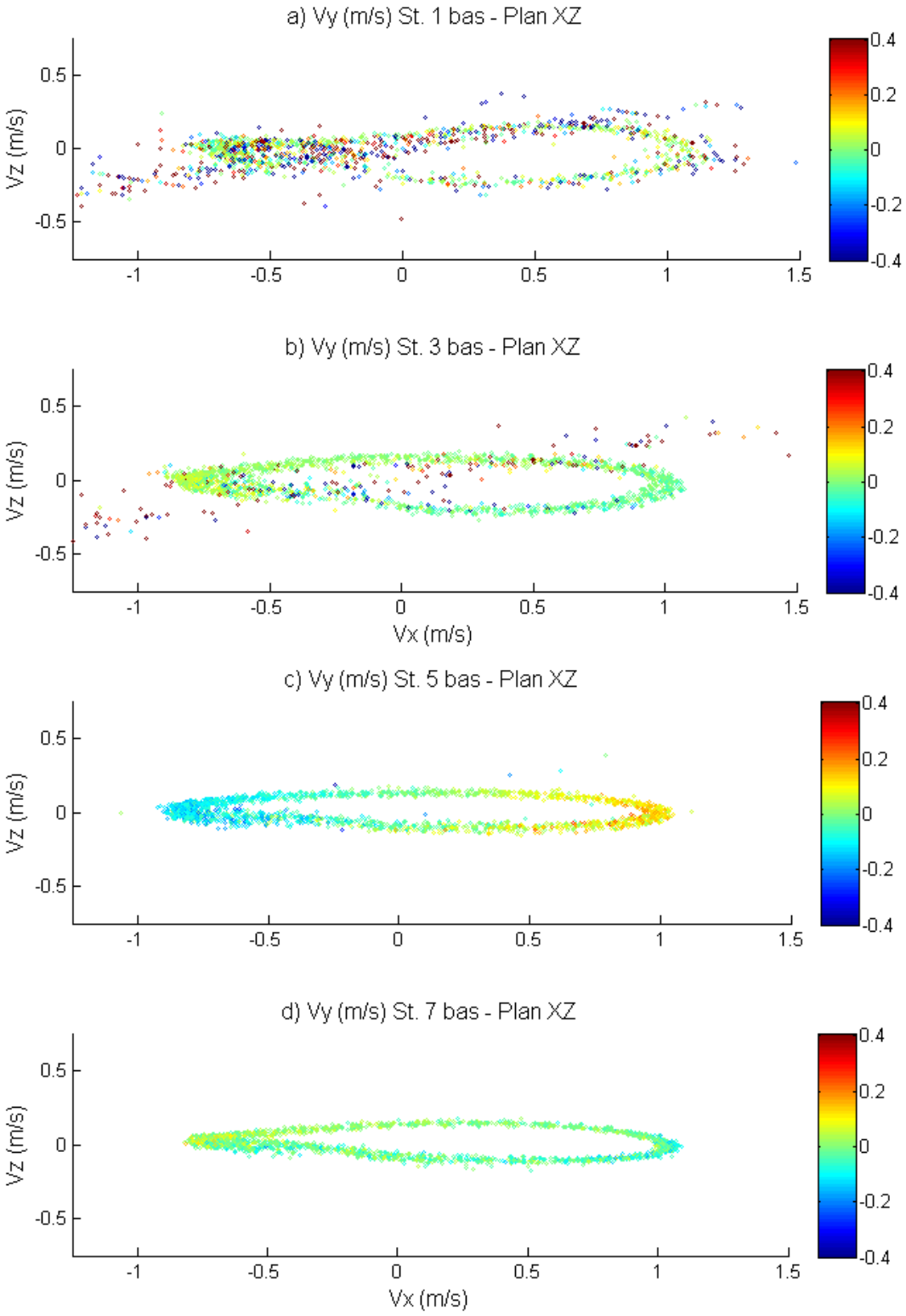


Figure 298. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino I situés au bas des quatre stations (a, b, c et d) pour une profondeur (d) de 3,5 m, une hauteur de vague (H) de 1,5 m et une période (T) de 6s (N=2000)

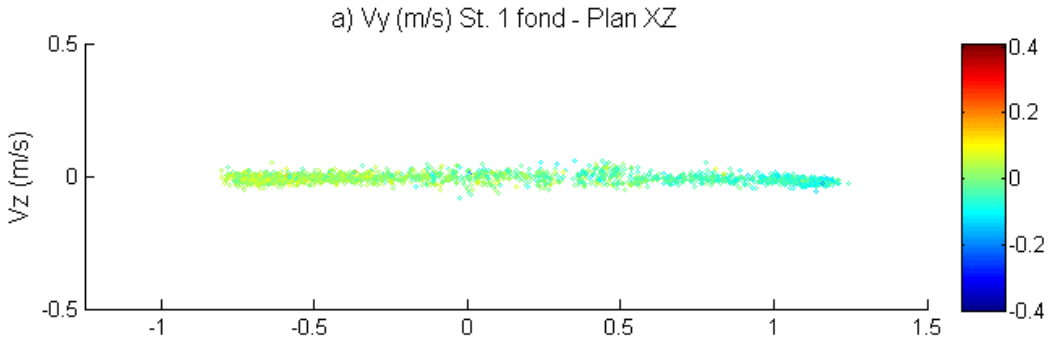


Figure 299. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino II situés au fond du canal aux stations a) 1 pour une profondeur (d) de 3,5 m, une hauteur de vague (H) de 1,5 m et une période (T) de 6 s (N=2000)

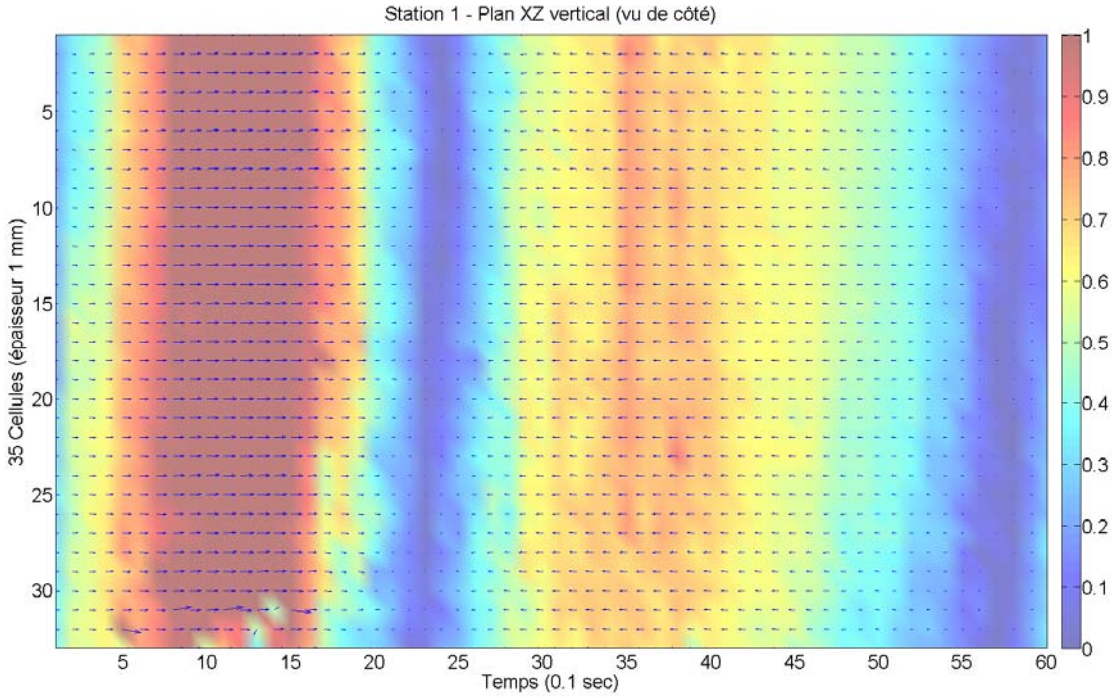


Figure 300. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XY) à la station 1 pour une profondeur (d) de 3,5 m, une hauteur de vague (H) de 1,5 m et une période (T) de 6 s (n = 2010 à 2069)

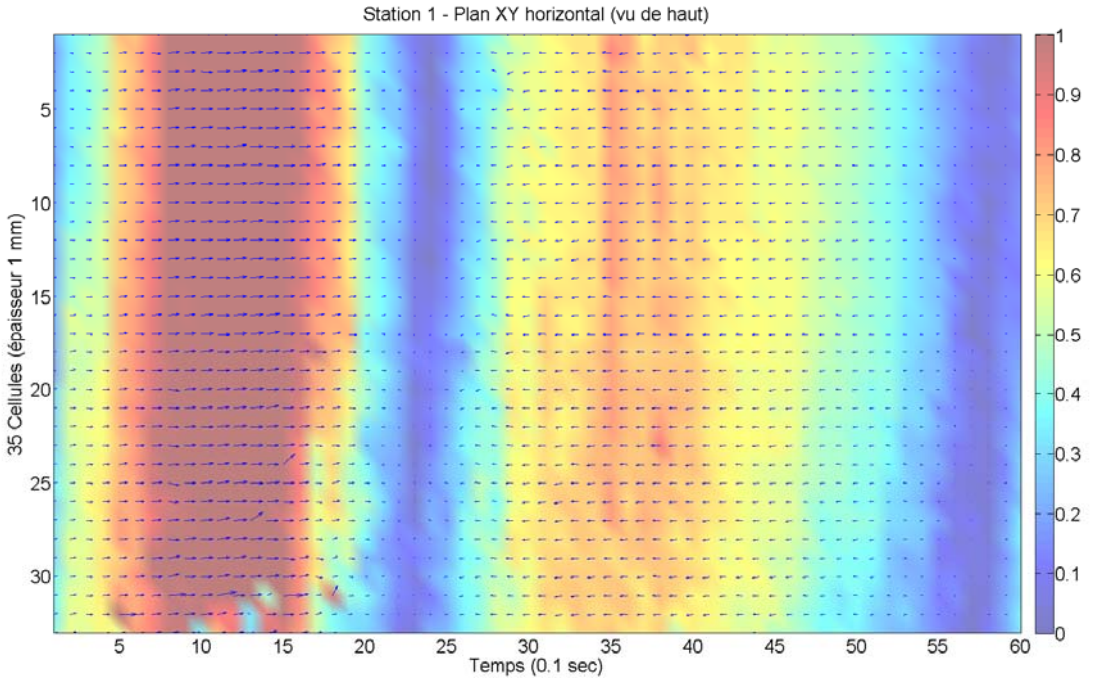


Figure 301. Vitesses au fond du canal mesurées dans le plan horizontal (XZ) à la station 1 pour une profondeur (d) de 3,5 m, une hauteur de vague (H) de 1,5 m et une période (T) de 6 s (n = 2010 à 2069)

5.3 Expérience 3

5.3.1 Vectrino II

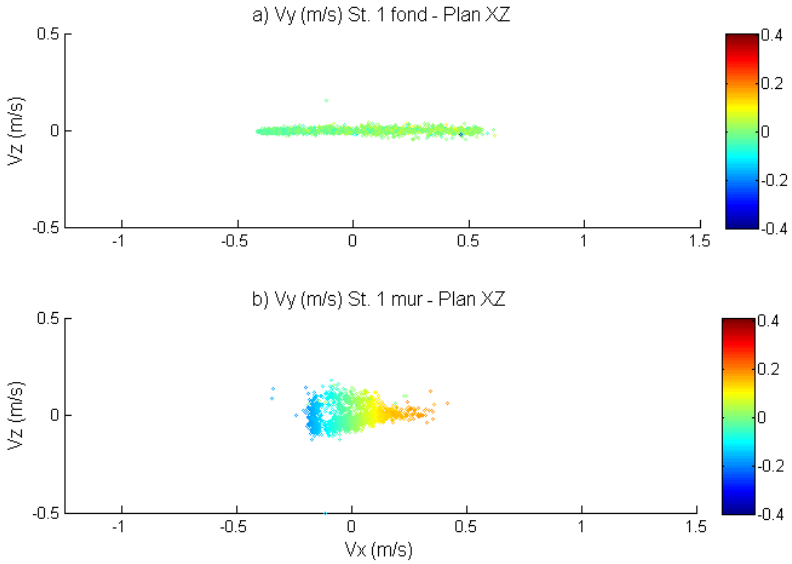


Figure 302. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino II situés a) au fond du canal et b) près du mur coté est de la station 1 pour une profondeur (d) de 2,5 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 10 s (N=2000)

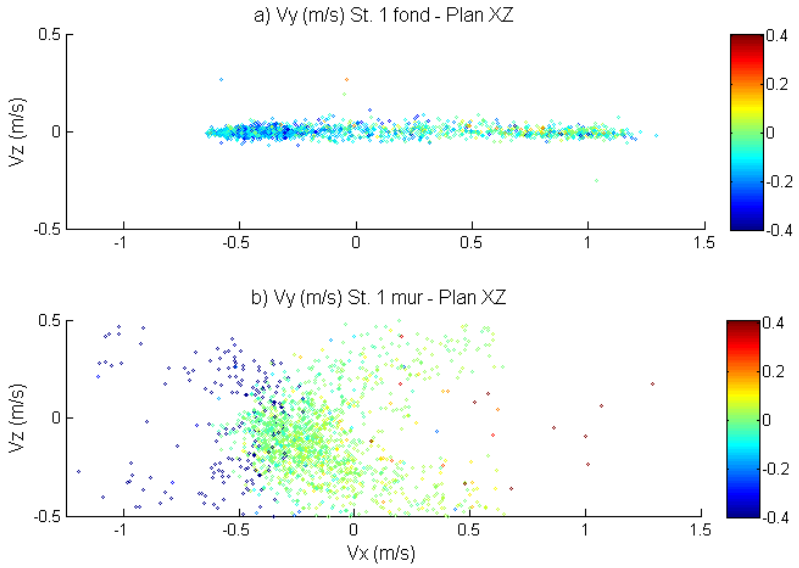


Figure 303. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino II situés a) au fond du canal et b) près du mur coté est de la station 1 pour une profondeur (d) de 2,5 m, une hauteur de vague (H) de 1,5 m et une période (T) de 6 s (N=2000)

Note : Le Vectrino II situé au mur ne semble pas avoir pris des mesures de bonne qualité

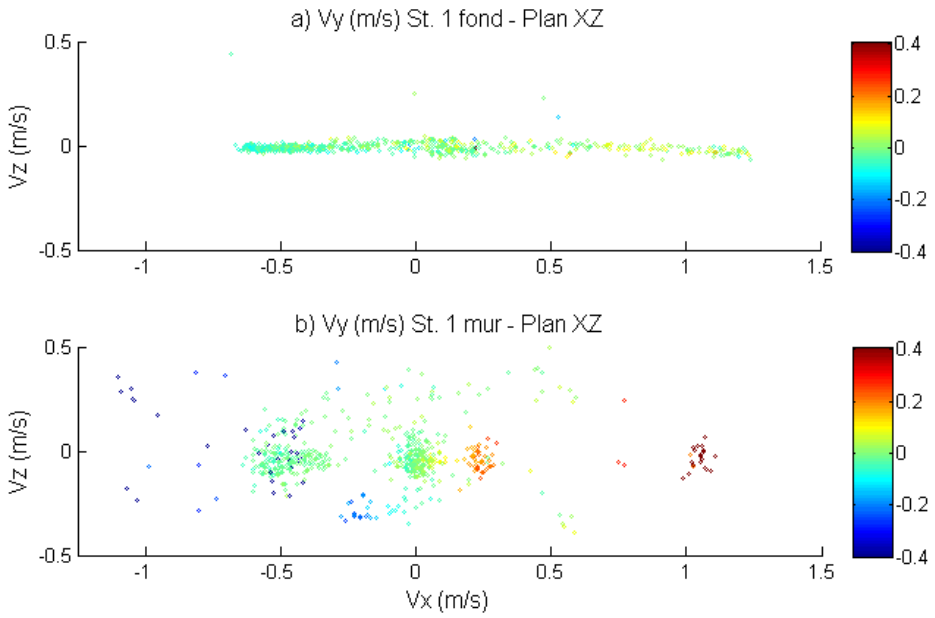


Figure 304. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino II situés a) au fond du canal et b) près du mur coté est de la station 1 pour une profondeur (d) de 2,5 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 10 s (N=700)

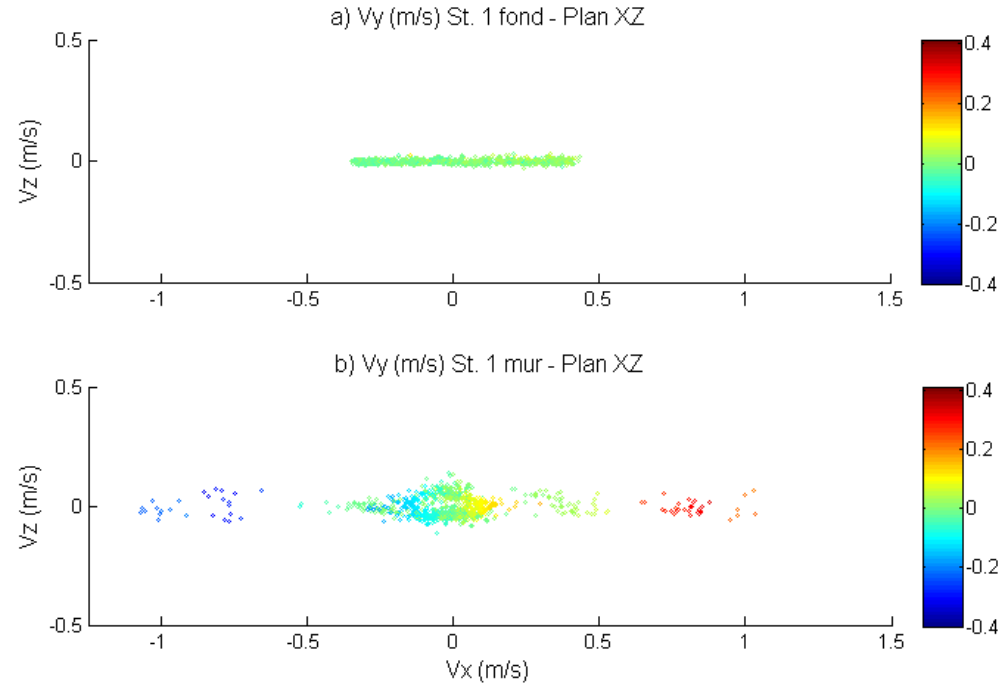


Figure 305. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino II situés a) au fond du canal et b) près du mur coté est de la station 1 pour une profondeur (d) de 3 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 12 s (N=1000)

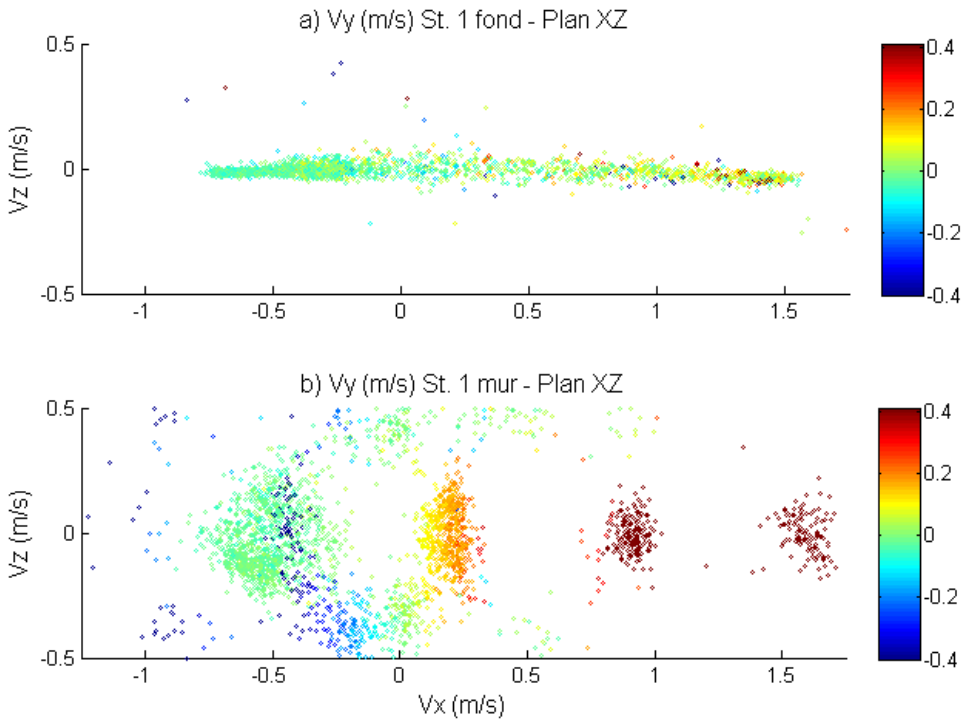


Figure 306. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino II situés a) au fond du canal et b) près du mur coté est de la station 1 pour une profondeur (d) de 3 m, une hauteur de vague (H) de 1,5 m et une période (T) de 8 s (N=2800)

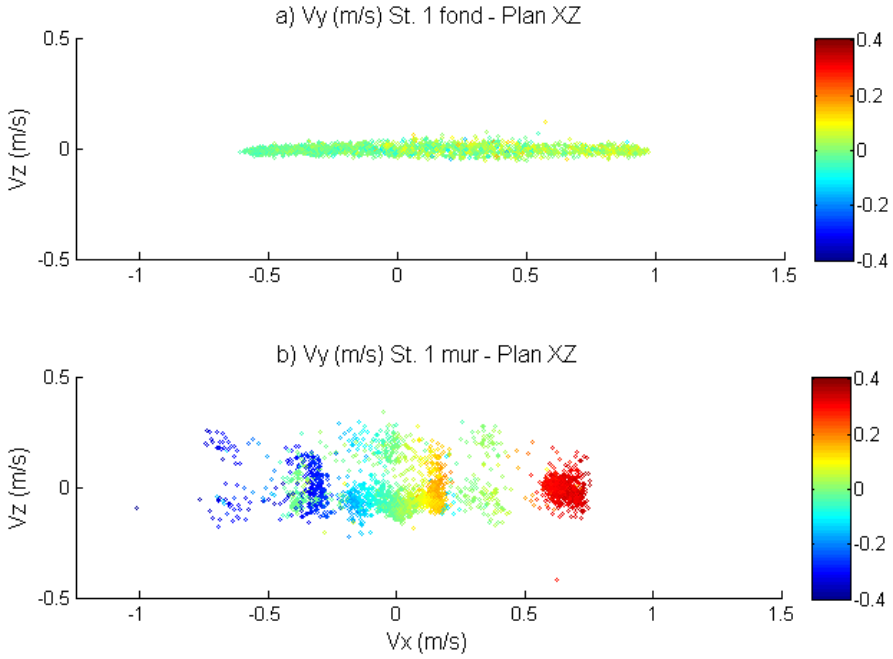


Figure 307. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino II situés a) au fond du canal et b) près du mur coté est de la station 1 pour une profondeur (d) de 3 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 12 s (N=3000)

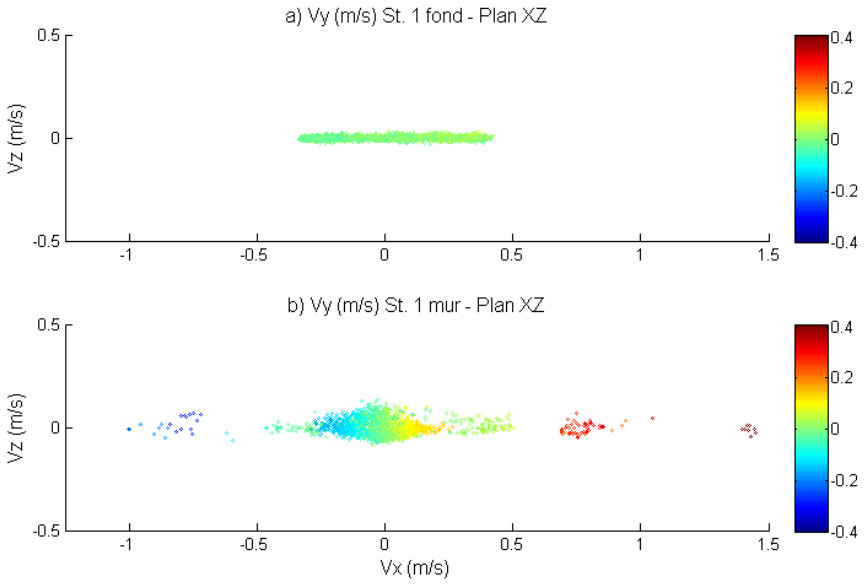


Figure 308. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino II situés a) au fond du canal et b) près du mur coté est de la station 1 pour une profondeur (d) de 3,5 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 12 s (N=2000)

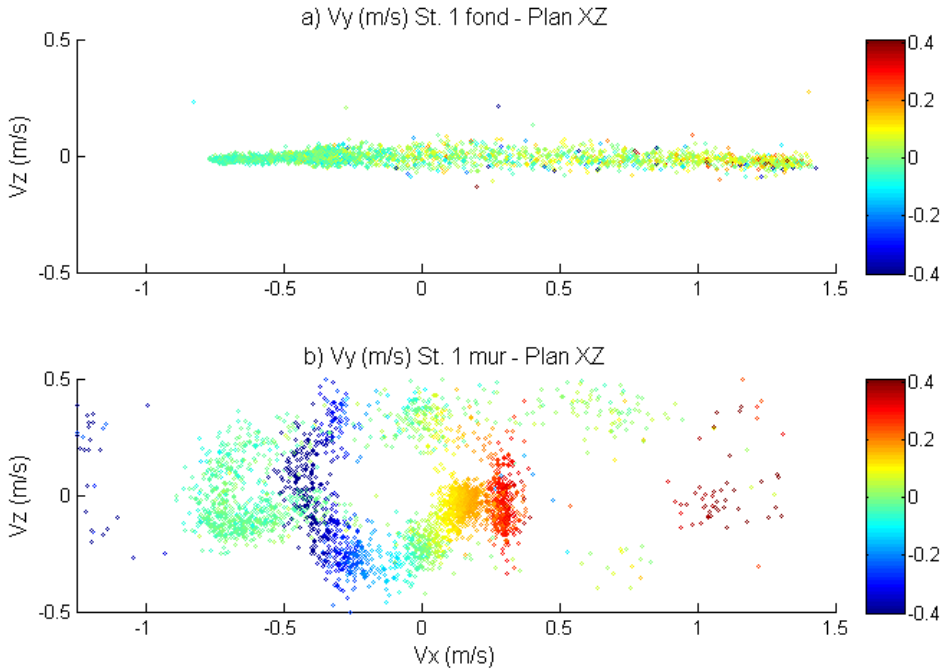


Figure 309. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino II situés a) au fond du canal et b) près du mur coté est de la station 1 pour une profondeur (d) de 3,5 m, une hauteur de vague (H) de 1,5 m et une période (T) de 8 s (N=3000)

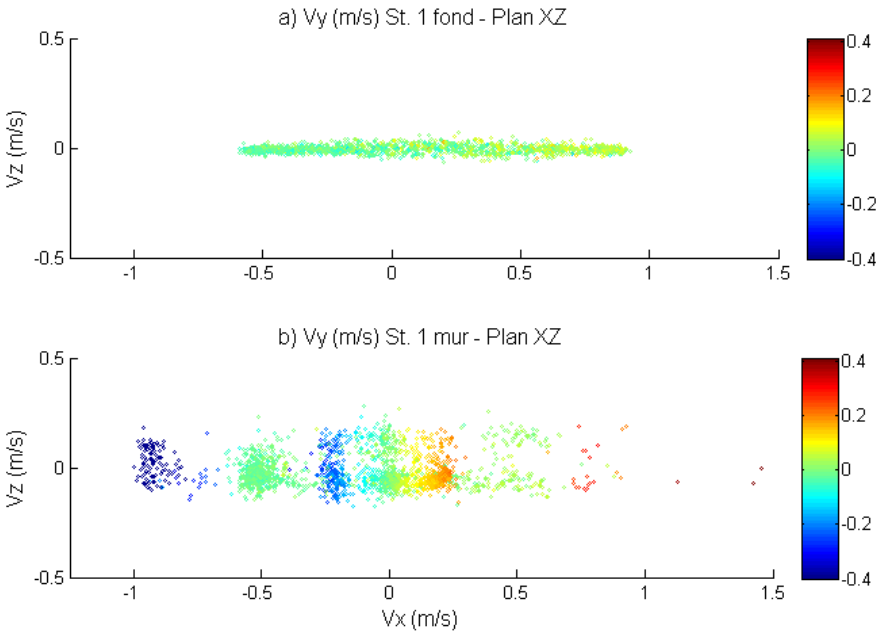


Figure 310. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino II situés a) au fond du canal et b) près du mur coté est de la station 1 pour une profondeur (d) de 3,5 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 12 s (N=2000)

Tableau 16. Test de qualité des appareils Vectrino I : V moy est la vitesse moyenne, V SD est la déviation standard des vitesses mesurées, SNR est l'expression du signal-to-noise ratio (Équation 11), S/N est le ratio du signal et du bruit et ce, dans la direction de x, y et z en fonction de la période (T). Les longueurs des séries de données (N) sont les mêmes que pour les Vectrino II (tableaux précédents). La profondeur de l'appareil par rapport au niveau d'eau (d) est dénotée par z.

	T (sec)	N	V_x moy	V_y moy	V_z moy	V_x SD	V_y SD	V_z SD	SNR_x	SNR_y	SNR_z	S/N_x	S/N_y	S/N_z
Niveau 2,5 m														
Vague 0,5 m														
a) *St.1 haut*	10	1500	0	0	0,01	0,43	0,2	0,1	1,48	2,01	1,16	1,19	1,26	1,14
b) *St.1 haut*			-0,02	-0,09	0,01	0,8	0,87	0,22	-2	-3,07	-3,1	0,8	0,7	0,7
c) *St. 3 bas*			0,01	0,02	0,01	0,37	0,4	0,08	1,82	2,23	1,01	1,23	1,29	1,12
Vague 1 m														
a) *St.1 haut*	10	1000	-0,04	-0,09	0	0,83	0,9	0,23	-0,6	-1,59	-1,6	0,93	0,83	0,83
b) *St.1 haut*			-0,05	-0,09	-0,01	0,83	0,9	0,23	-0,6	-1,59	-1,6	0,93	0,83	0,83
c) *St. 3 bas*			-0,03	0,02	-0,01	0,5	0,32	0,09	2,74	3,19	1,72	1,37	1,44	1,22
Vague 1,5 m														
a) *St.1 haut*	6	2000	-0,34	0,02	-0,01	0,56	0,23	0,17	22,4	22,1	21,5	13,3	12,7	11,91
b) *St.1 haut*			-0,25	-0,01	-0,02	0,59	0,24	0,17	0,82	1,2	-0,3	1,1	1,15	0,97
c) *St. 3 bas*			-0,2	-0,02	0,05	0,5	0,06	0,13	21,9	23,3	20,2	12,4	14,6	10,27
Niveau 3 m														
Vague 0,5 m														
a) *St.1 haut*	12	2000	-0,01	0	0	0,23	0,02	0,04	9,38	11,1	8,94	2,95	3,59	2,8
b) *St.1 haut*			-0,02	-0,06	0	0,79	0,8	0,21	-2,3	-3,38	-3,5	0,77	0,68	0,66
c) *St. 3 bas*			-0,02	0	0	0,22	0,01	0,02	10,9	12	8,42	3,5	3,96	2,64
Vague 1 m														
a) *St.1 haut*	12	2500	-0,06	0,01	0,01	0,46	0,03	0,09	12,9	15,4	12	4,4	5,9	3,96
b) *St.1 haut*			-0,04	0,01	-0,02	0,89	0,89	0,24	15,2	15,9	13,8	5,75	6,21	4,87
c) *St. 3 bas*			-0,04	0	0	0,43	0,02	0,05	12,6	13,6	10,2	4,26	4,77	3,24
Vague 1,5 m														
a) *St.1 haut*	8	2000	-0,14	0,01	0,02	0,68	0,08	0,22	13,3	15,6	12,9	4,64	6,05	4,42
b) *St.1 haut*			0,05	0,01	-0,01	1,42	1,4	0,42	0,13	-0,05	-0,1	1,02	0,99	0,99
c) *St. 3 bas*			-0,05	0	0	0,62	0,05	0,13	10,4	11,2	8,41	3,33	3,64	2,63
Niveau 3,5 m														
Vague 0,5 m														
a) *St.1 haut*	12	2500	-0,02	0	0	0,22	0,02	0,03	10,3	12,8	9,76	3,27	4,35	3,08
b) *St.1 haut*			0,05	0,01	-0,09	1,43	1,35	0,48	2,96	2,02	3,02	1,41	1,26	1,42
c) *St. 3 bas*			-0,02	0,01	0	0,21	0,02	0,02	9,14	9,83	7,13	2,86	3,1	2,27
Vague 1 m														
a) *St.1 haut*	12	3000	-0,06	0,01	0	0,46	0,03	0,07	11,7	14,1	11,1	3,84	5,07	3,58
b) *St.1 haut*			0,02	0	-0,01	1,12	1,13	0,4	2,21	1,51	2,21	1,29	1,19	1,29
c) *St. 3 bas*			-0,04	0,01	0	0,43	0,02	0,04	9,03	9,74	7,03	2,83	3,07	2,25
Vague 1 m														
a) *St.1 haut*	8	3000	-0,11	0	0,02	0,65	0,06	0,18	11	13,3	10,4	3,53	4,62	3,33
b) *St.1 haut*			0,02	0	0,02	1,18	1,2	0,45	2,63	1,8	2,63	1,35	1,23	1,35
c) *St. 3 bas*			-0,03	0,01	-0,01	0,61	0,06	0,1	7,3	7,84	5,48	2,32	2,47	1,88

5.3.2 Vectrino I

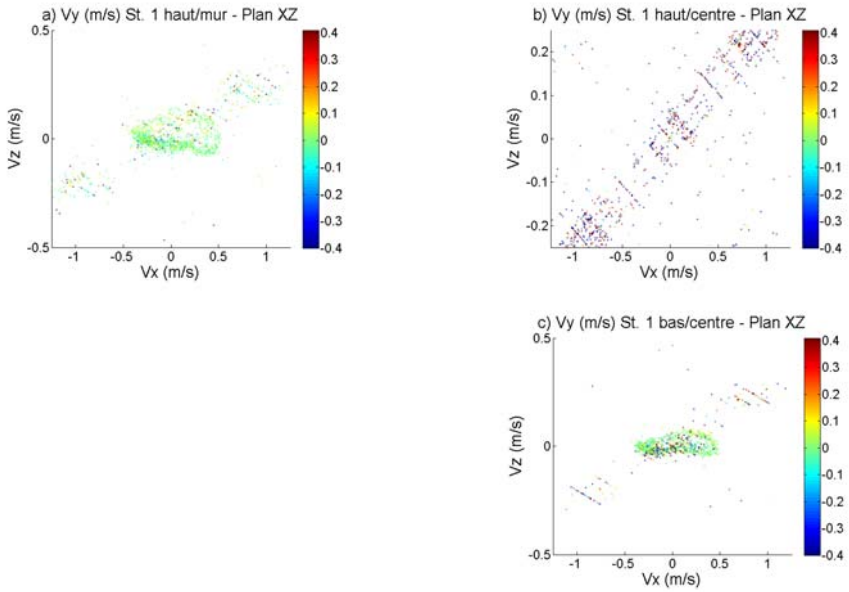


Figure 311. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino I situés a) près du mur côté est (haut), b) au centre en haut et c) au centre en bas de la station 1 pour une profondeur (d) de 2,5 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 10 s (N=1500)

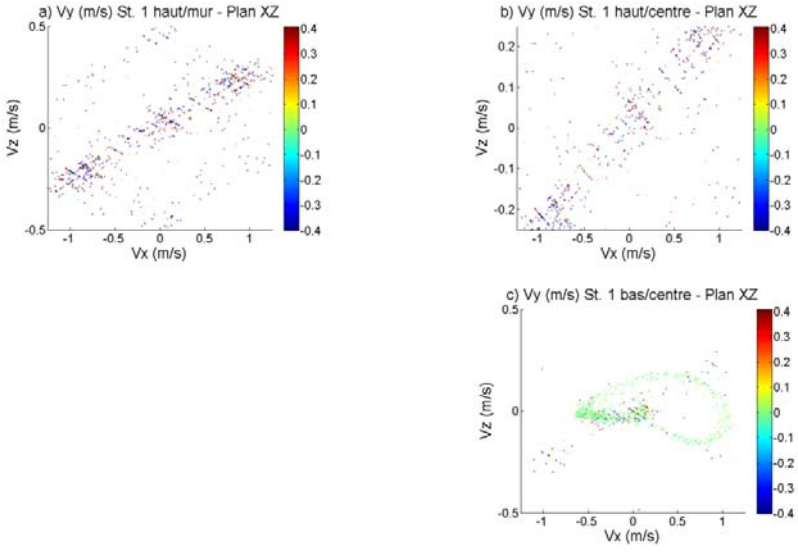


Figure 312. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino I situés a) près du mur côté est (haut), b) au centre en haut et c) au centre en bas de la station 1 pour une profondeur (d) de 2,5 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 10 s (N=1000)

Note: Certains Vectrino I ne semblent pas avoir pris des mesures de bonne qualité

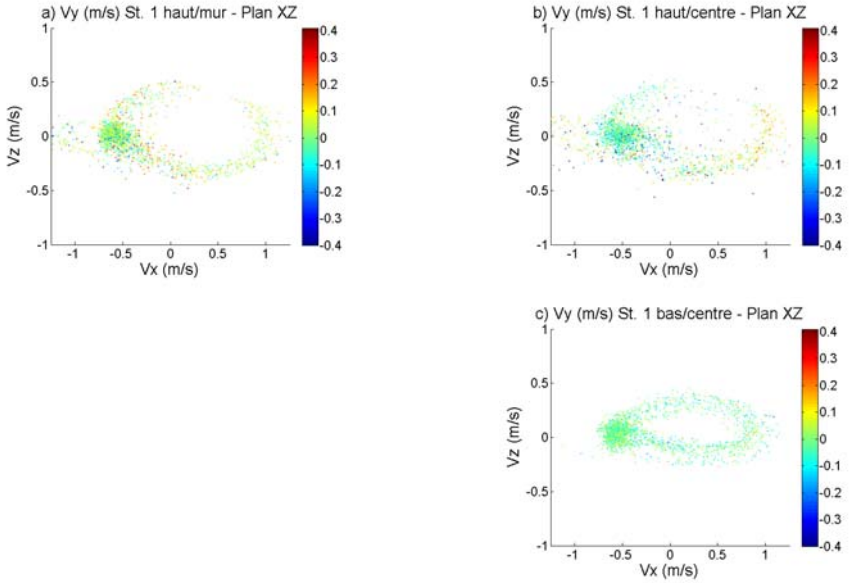


Figure 313. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino I situés a) près du mur côté est (haut), b) au centre en haut et c) au centre en bas de la station 1 pour une profondeur (d) de 2,5 m, une hauteur de vague (H) de 1,5 m et une période (T) de 6 s (N=2000)

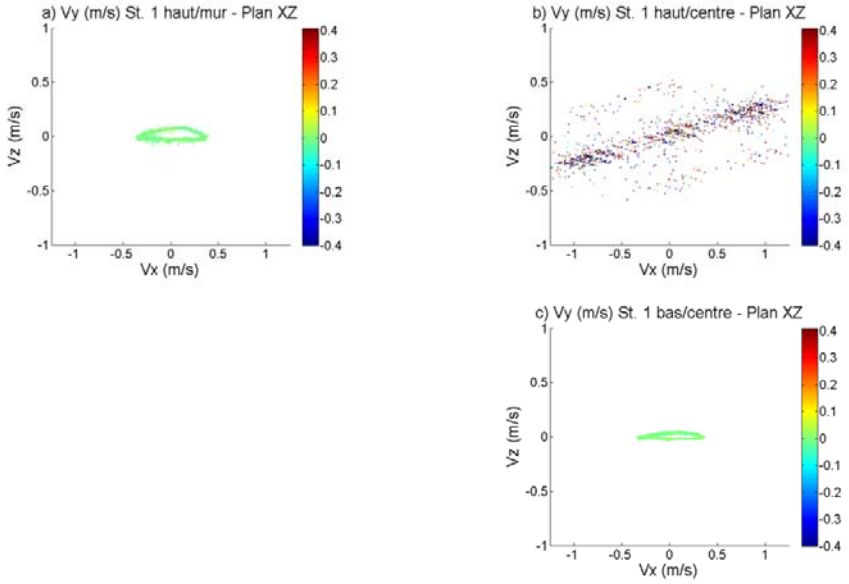


Figure 314. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino I situés a) près du mur côté est (haut), b) au centre en haut et c) au centre en bas de la station 1 pour une profondeur (d) de 3 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 12 s (N=2000)

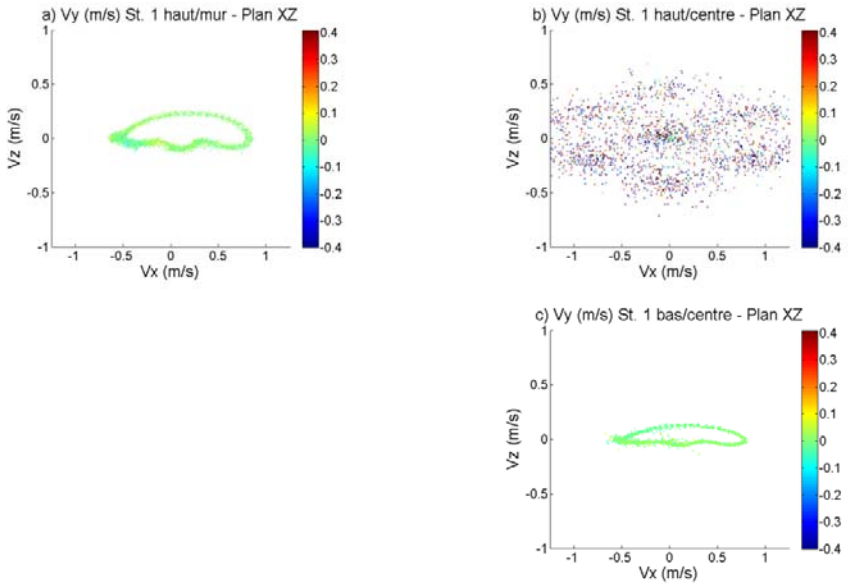


Figure 315. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino I situés a) près du mur côté est (haut), b) au centre en haut et c) au centre en bas de la station 1 pour une profondeur (d) de 3 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 12 s (N=2500)

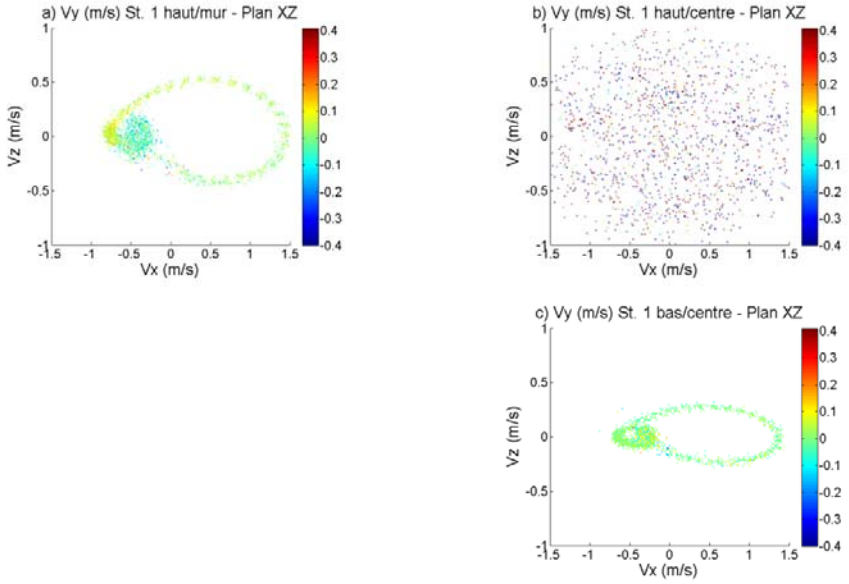


Figure 316. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino I situés a) près du mur côté est (haut), b) au centre en haut et c) au centre en bas de la station 1 pour une profondeur (d) de 3 m, une hauteur de vague (H) de 1,5 m et une période (T) de 8 s (N=2000)

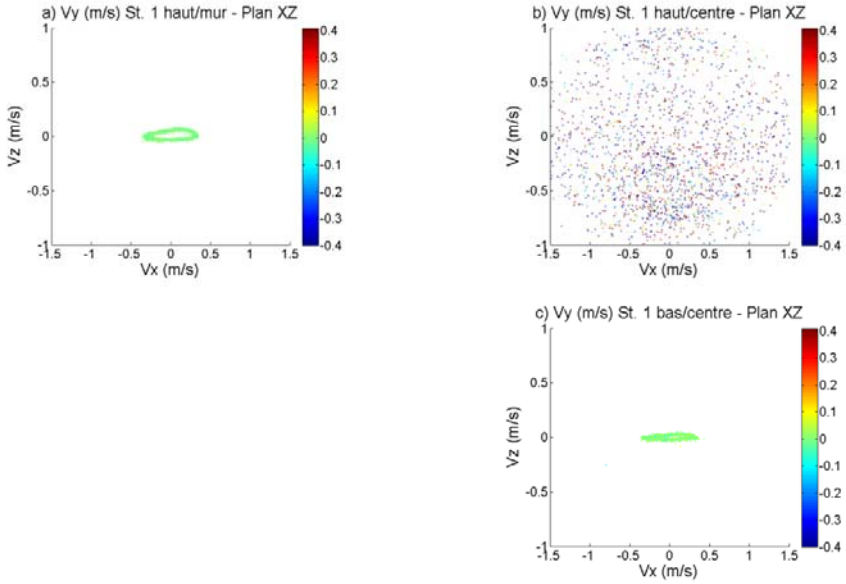


Figure 317. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino I situés a) près du mur côté est (haut), b) au centre en haut et c) au centre en bas de la station 1 pour une profondeur (d) de 3,5 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 12 s (N=2500)

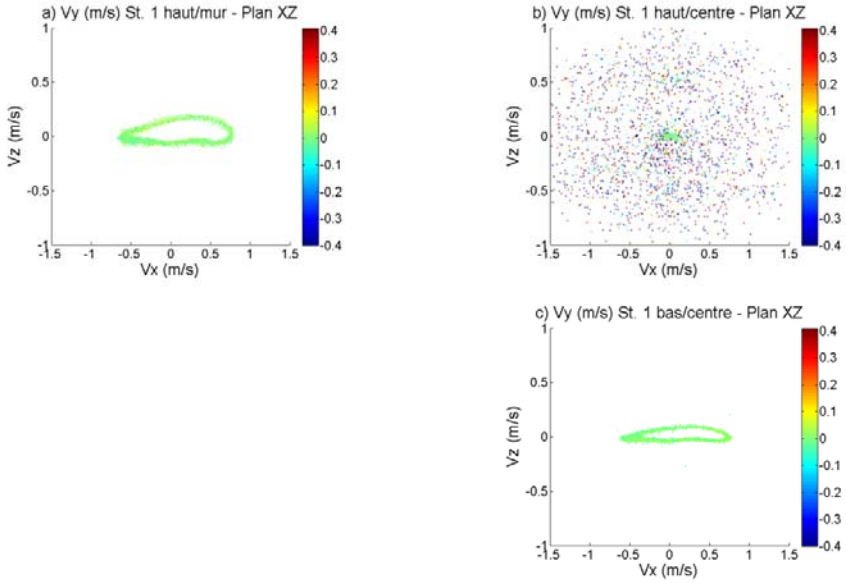


Figure 318. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino I situés a) près du mur côté est (haut), b) au centre en haut et c) au centre en bas de la station 1 pour une profondeur (d) de 3,5 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 12 s (N=3000)

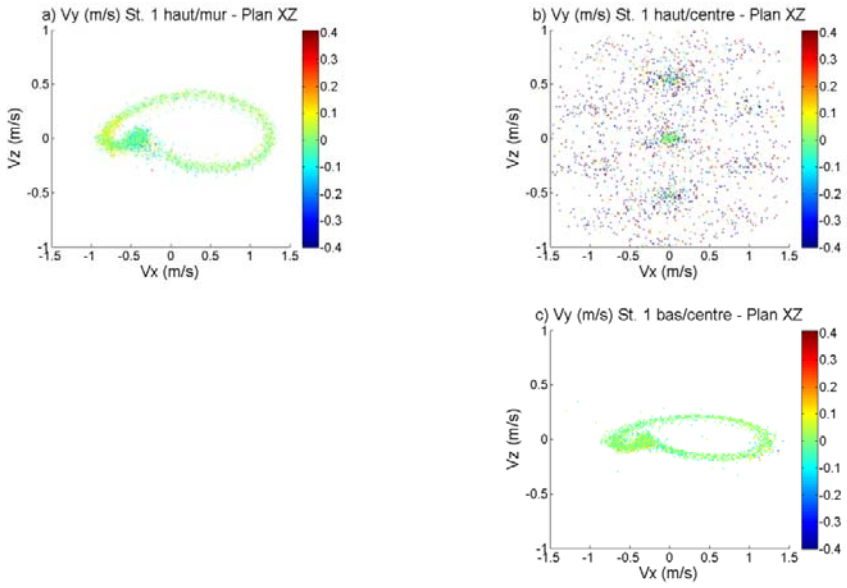


Figure 319. Vitesse en Y dans le plan vertical XZ des appareils Vectrino I situés a) près du mur côté est (haut), b) au centre en haut et c) au centre en bas de la station 1 pour une profondeur (d) de 3,5 m, une hauteur de vague (H) de 1,5 m et une période (T) de 8 s (N=3000)

5.3.3 Niveau d'eau

Comparaison des séries de niveaux d'eau similaires; augmentation de façon proportionnelle de l'énergie aux harmoniques de fréquences supérieures en fonction de la hauteur de vague (inversement proportionnelle au niveau d'eau)

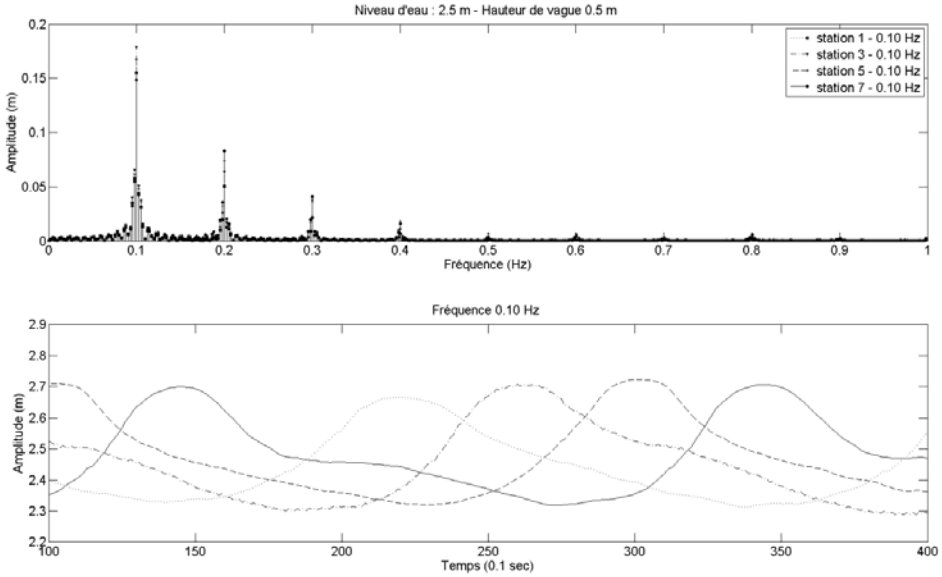


Figure 320. Niveau d'eau et composantes fréquentielles (FFT) pour une profondeur (d) de 2,5 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 10 s

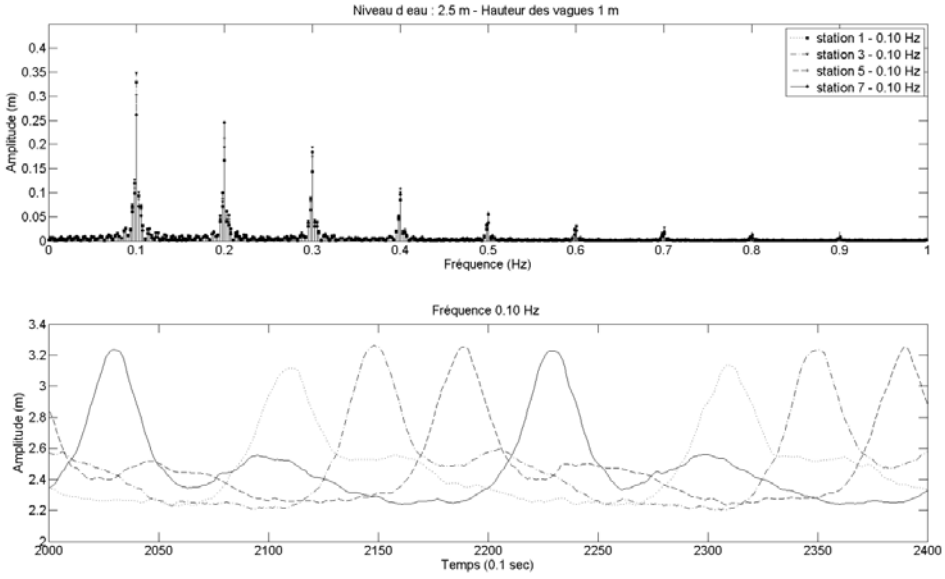


Figure 321. Niveau d'eau et composantes fréquentielles (FFT) pour une profondeur (d) de 2,5 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 10 s

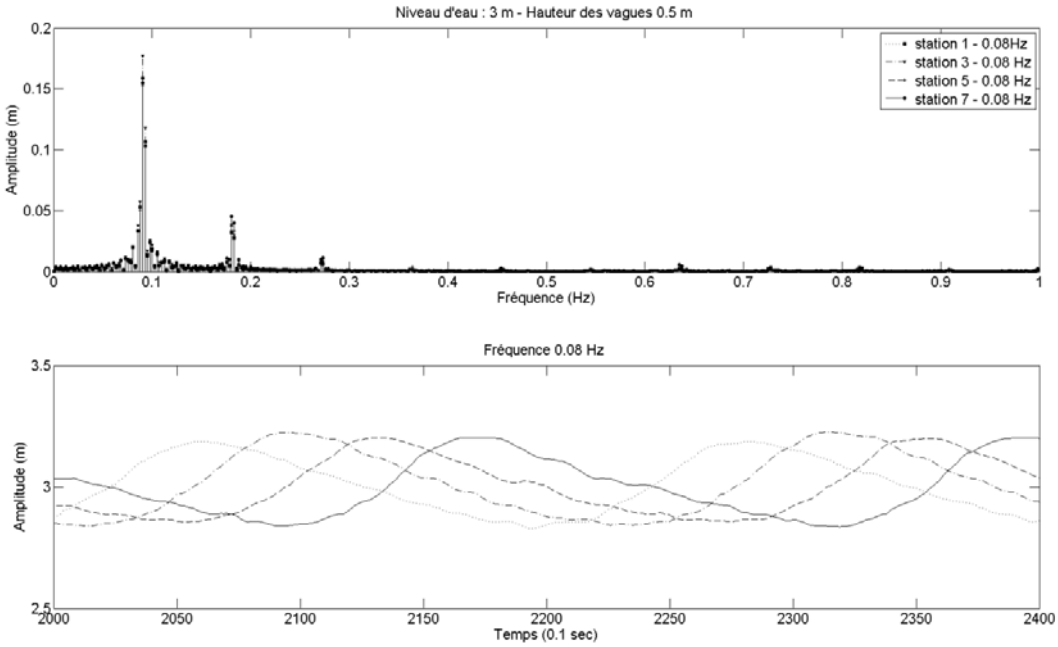


Figure 322. Niveau d'eau et composantes fréquentielles (FFT) pour une profondeur (d) de 3 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 12 s

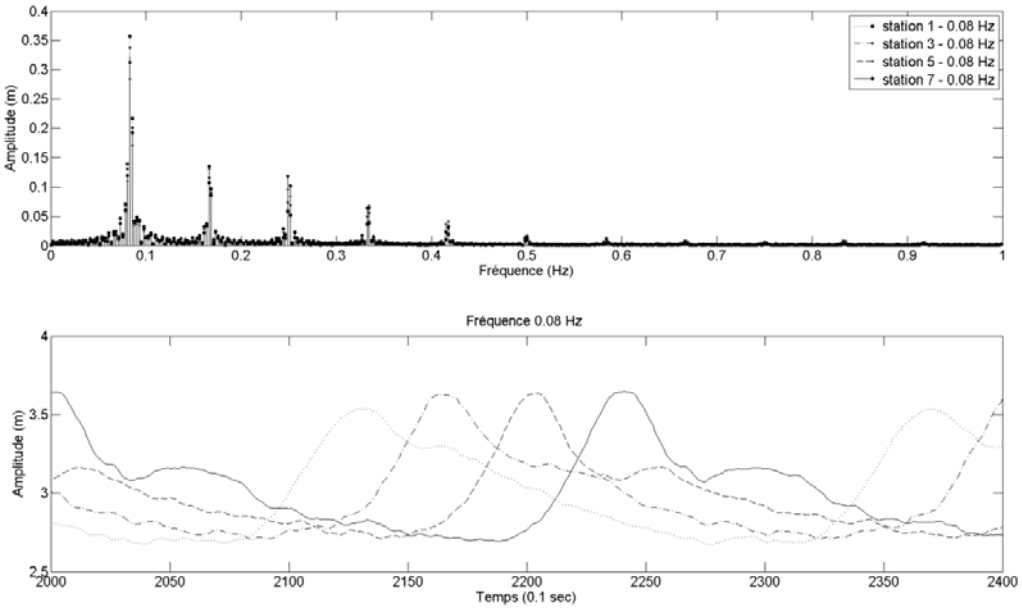


Figure 323. Niveau d'eau et composantes fréquentielles (FFT) pour une profondeur (d) de 3 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 12 s

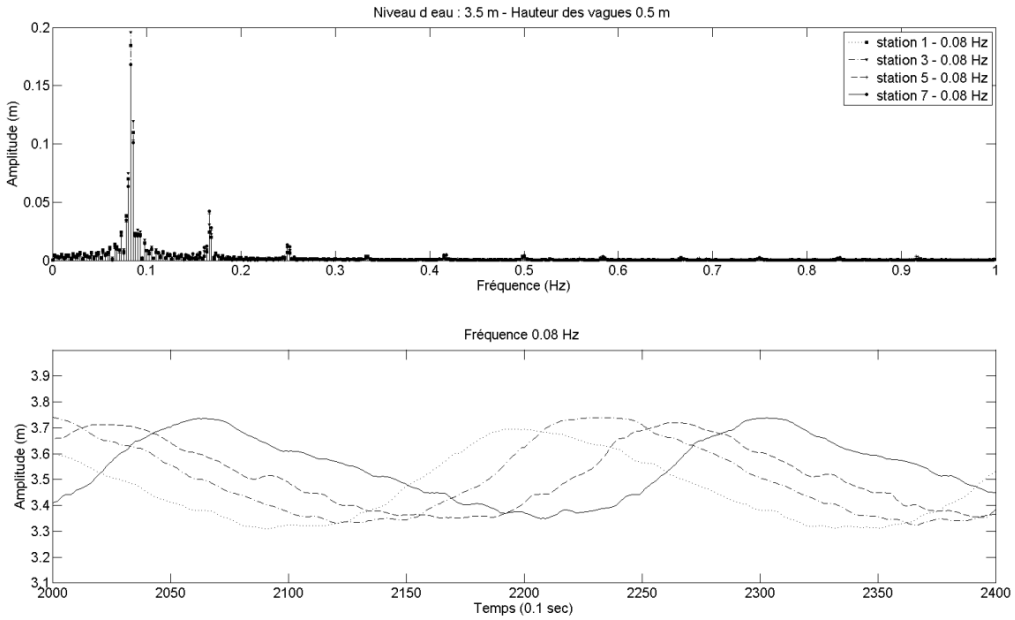


Figure 324. Niveau d'eau et composantes fréquentielles (FFT) pour une profondeur (d) de 3,5 m, une hauteur de vague (H) de 0,5 m et une période (T) de 12 s

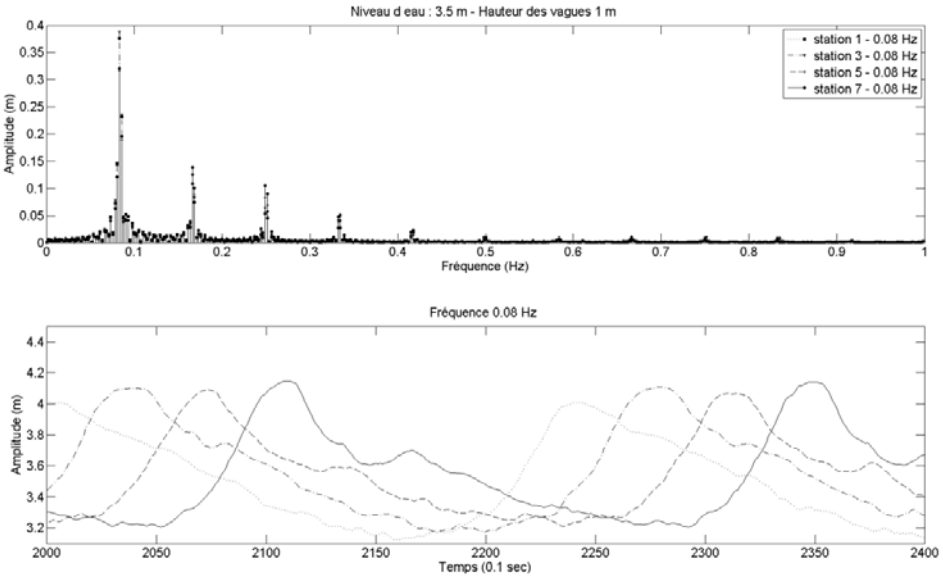


Figure 325. Niveau d'eau et composantes fréquentielles (FFT) pour une profondeur (d) de 3,5 m, une hauteur de vague (H) de 1 m et une période (T) de 12 s

6. Conclusion et recommandations

- ✓ Améliorer le système d'acquisition de sorte que les données soit visualisées instantanément après l'échantillonnage
- ✓ Synchroniser les séries temporelles entre elles
- ✓ Mesurer à nouveau la profondeur d'eau (d) dans le bassin à l'aide des jauges afin de vérifier l'étalonnage et, au besoin, corriger la dérive des appareils
- ✓ Aligner les appareils avec l'axe du canal ou corriger, dans le post traitement des données, l'inclinaison de ceux-ci
- ✓ Établir un protocole de laboratoire en fonction des analyses nécessaires aux objectifs de recherche
- ✓ Améliorer le traitement des données en fonction des objectifs de recherche
- ✓ Capter à l'aide de caméras les images des séries de vagues crées notamment pour mieux répertorier et décrire les problèmes de déferlement
- ✓ Éviter de mettre un des angles des appareils Vectrino dans le sens du courant
- ✓ Faire attention à la saturation des capteurs de niveau d'eau considérant que la hauteur d'une vague cnoïdale est au dessus de la profondeur d'eau
- ✓ Réviser le protocole pour les mesures de friction et de turbulence dans le canal considérant que la variation de l'amplitude des vagues est faible et que les vagues ont tendance à se déformer lors de leur propagation (une analyse de Fourier à elle seule n'est pas suffisante)
- ✓ Vérifier les critères de déferlement devant le batteur
- ✓ Faire des expériences avec des turbidités plus élevées

Bibliographie

Airy, G. (1845). *Tides and Waves.* article 192, pp 241-396.: Encyc. Metrop.

Chappelear, J. E. (1961). Direct numerical calculation of wave properties. *Journal of Geophysical Research* , 66(2), 501-508.

(2002). *Coastal Engineering Manual- chapter 1, Part II (EM 1110-2-1100).* Washington, DC: US Army Corps of Engineers (CECW-EW).

Dean, R. G. (1965). Stream function representation of nonlinear ocean waves. *Journal of Geophysical Research* , vol 70, pp. 4561-4572.

Eckart, C. (1952). *The propagation of gravity waves from deep to shallow water.* Whashington, DC, pp 165-173: National Bureau of Standards, Circular 521, issue 28 Novembre.

Fenton. (1985). A fifth-order stokes theory for steady waves. *Journal Waterway Port Coastal and Ocean Engineering* , vol. 111, 216-234.

Fenton, J. D. (1990). On Calculating the Lengths of Water Waves. *Coastal Engr.* , Vol 14, pp 499-513.

Guo, J. (2002). Simple and explicit solution of wave dispersion equation. *Coastal Engng.* , vol. 45, pp 71-74.

Le Méhauté, B. (1976). *Introduction to Hydrodynamics and Water Waves.* New York: Springer-Verlag.

Miche, R. (1944). Mouvements Ondulatoires des Mers en Profondeur Constante on Decroisante. *Annales des Ponts et Chaussees* , pp. pp 25-78, 131-164, 270-292, 369-406.

Michell, J. H. (1893). On the Highest Wave in Water. *Phil. Mag.,* , Vol 36, pp 430-435.

(1984). *Shore Protection Manual (4 ème édition).* Washington, DC: U.S. Government Printing Office.

Stokes, S. G. (1847). *On the theory of oscillatory waves.* Cambridge, Grande-Bretagne: Trans. Camb. Phil. Soc., vol. 8. pp 441.

Annexes A - Formules

1) Relations de dispersion -MATLAB

Fenton & McKee (1990) :

L=2*pi./((1/9.81)*((2*pi./t).^2).*(coth(((2*pi./t).*(d./9.81).^(1/2)).^(3/2))).^(2/3))

Guo (2002) :

L=2*pi./((1/9.81)*((2*pi./t).^2).*(1-exp(- ((2*pi./t).*(d./9.81).^(1/2)).^(5/2))).^(-2/5))

2) Hauteur relative maximale avant déferlement L

Fenton & McKee (1990) pour Excel :

H/d = ((0,141063*(L/d)+0,00095721*(L/d)^2+0,0077829*(L/d)^3)/(1+0,078834*(L/d)+0,0317567*(L/d)^2+0,0093407*(L/d)^3))*a

avec a = amplitude de la vague

Annexe B - Figures

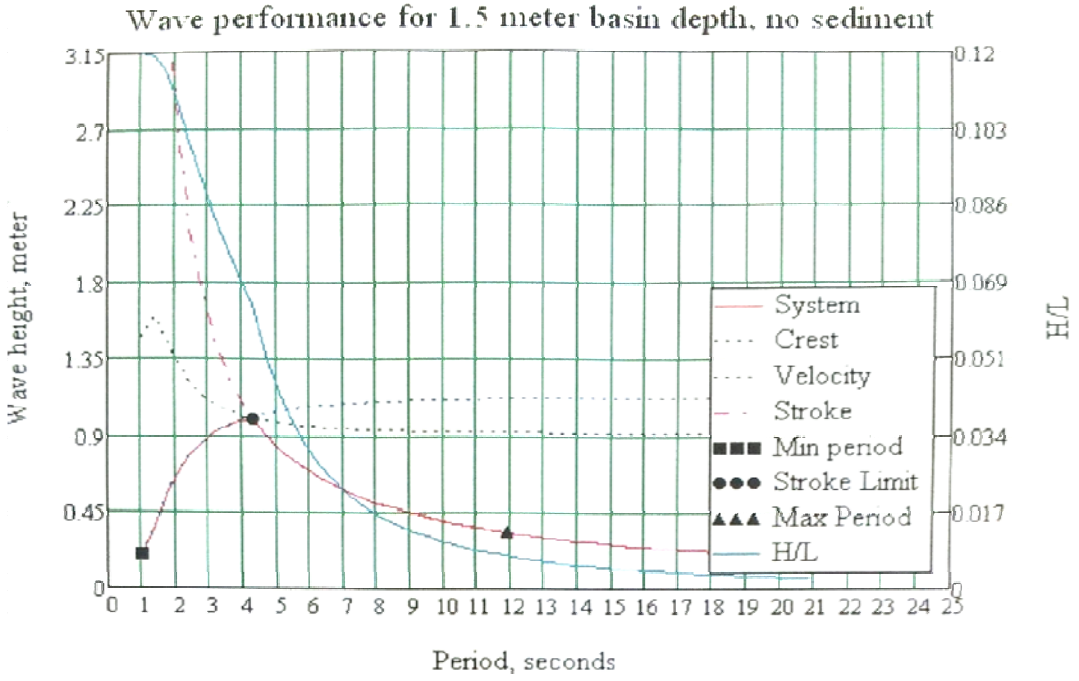


Figure 326. Étendue des vagues réalisables en hauteur et en période selon le fabriquant MTS (d = 1.5 mètre)

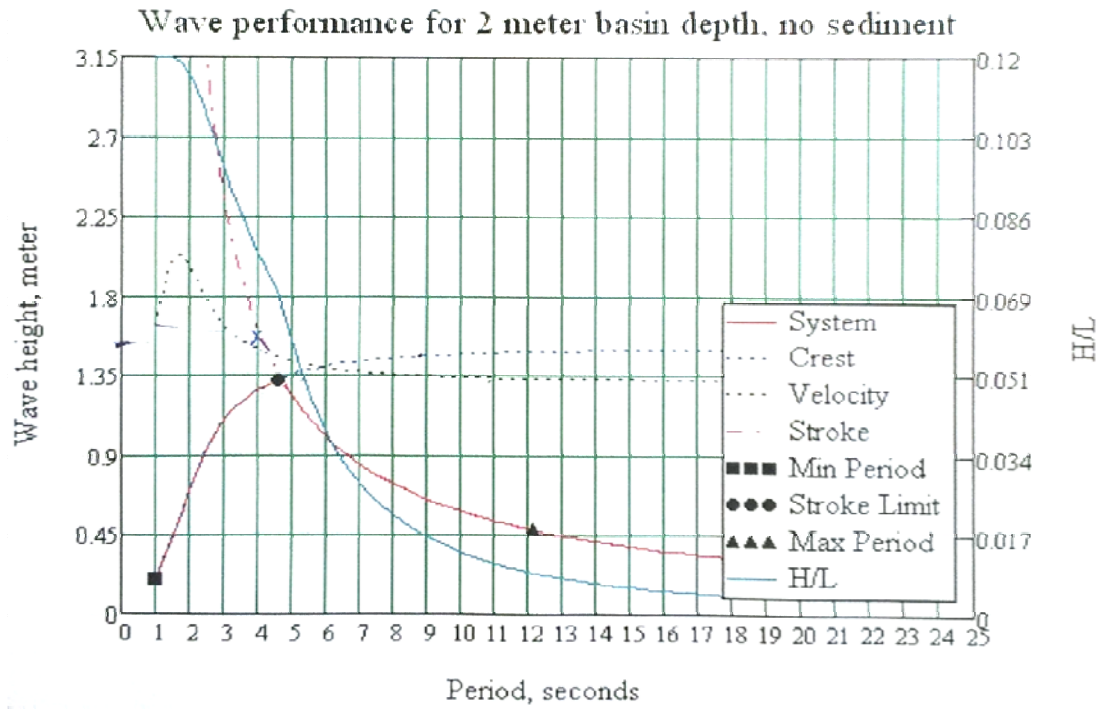


Figure 327. Étendue des vagues réalisables en hauteur et en période selon le fabriquant MTS (d = 2 mètres)

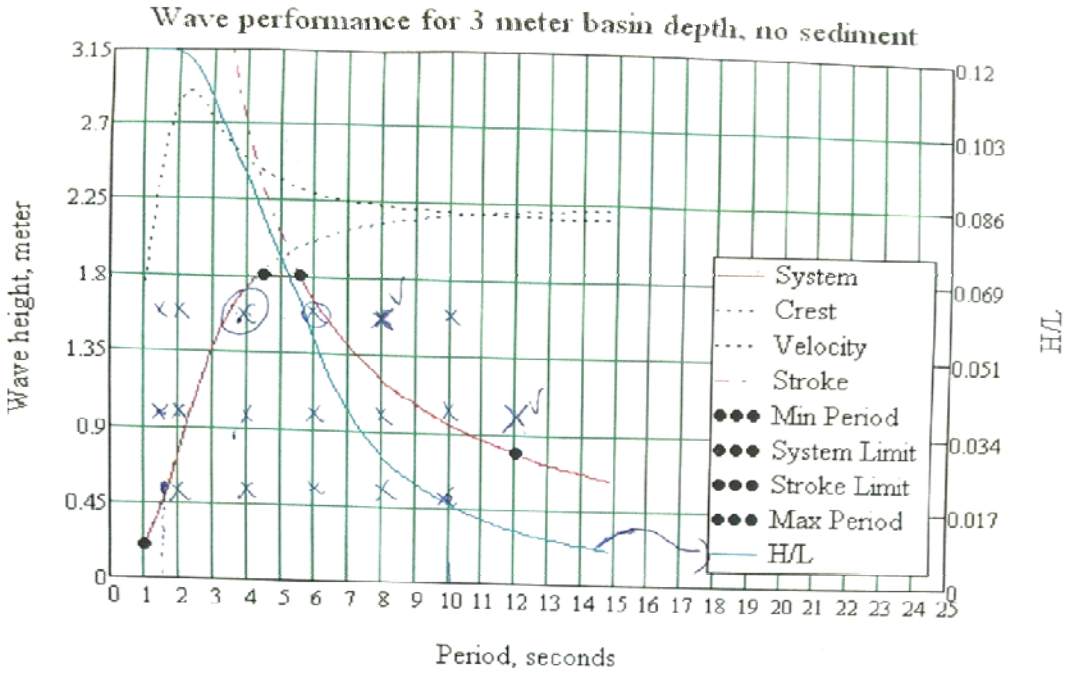


Figure 328. Étendue des vagues réalisables en hauteur et en période selon le fabriquant MTS (d = 3 mètres)

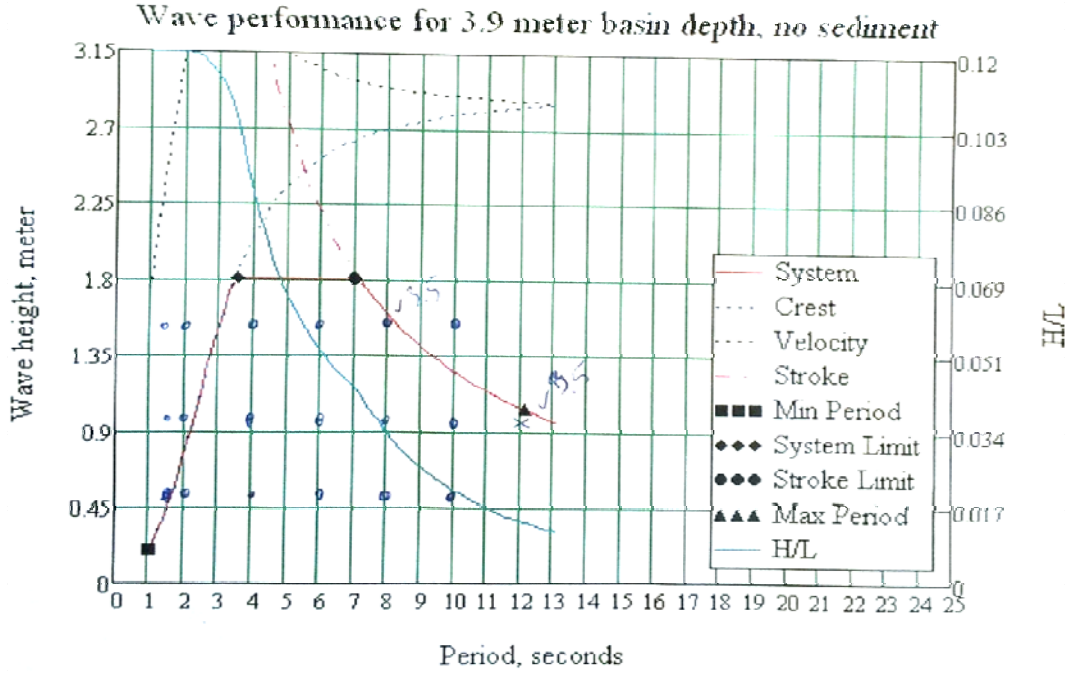


Figure 329. Étendue des vagues réalisables en hauteur et en période selon le fabriquant MTS (d = 3.9 mètres)