

### HALLIBURTON

A quick method to help identify magnetic mud with MWD

Sperry Drilling – Timothy Allen

# Agenda

- What is magnetic mud?
- Directional MWD Survey QC
  Btotal (Magnetic Field Strength)
- Pumps Off vs. Pumps On

## Sensitivity Analysis

- Scale Factor Error
  - 1.5% vs. 4.0%
  - Low vs. High Latitude

## Summary

# What is magnetic mud?

- The term "magnetic mud" is often used when magnetic material is retained within the mud, influencing the accuracy of directional MWD measurements
- The magnetic field is attenuated through the magnetic mud resulting in a scale factor error on the cross axial magnetometers





# **Directional MWD Survey QC**

- Basic Survey QC acceptance criteria
  - Gtotal +/- 0.003
  - Btotal (magnetic field strength) +/- 300nT
  - Dip (magnetic field inclination) +/- 0.30 deg

# **SFE Error example – Btotal**

Btotal QC +/- 300 nT

Low Latitude – Malaysia



# **Diagnosing the Error**

Directional MWD tool sensor error?

- British Geological Survey Global Geomagnetic Model (BGGM) uncertainty?
  - In-Field Referencing (IFR) may not be available

Magnetic Mud?

### SFE Error example – Btotal – Pumps On vs. Pumps Off

Btotal QC +/- 300 nT

Low Latitude – Malaysia



© 2009 Halliburton. All Rights Reserved.

# **Sensitivity Analysis**

# Magnetic Mud – Btotal Error 1.5% SFE

Btotal QC +/- 300 nT

### Low Latitude – Malaysia

																			A:	zimut	h																	
		0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125	130	135	140	145	150	155	160	165	170	175	180
	0.0	-620	-620	-620	-620	-620	-620	-620	-620	-620	-620	-620	-620	-620	-620	-620	-620	-620	-620	-620	-620	-620	-620	-620	-620	-620	-620	-620	-620	-620	-620	-620	-620	-620	-620	-620	-620	-620
	2.5	-620	-620	-620	-620	-620	-620	-620	-620	-620	-620	-620	-620	-620	-620	-620	-620	-620	-620	-620	-620	-620	-620	-619	-619	-619	-619	-619	-618	-618	-618	-618	-618	-618	-618	-618	-618	-617
	5.0	-618	-618	-618	-618	-618	-618	-619	-619	-619	-619	-620	-620	-620	-620	-620	-620	-620	-620	-620	-620	-619	-619	-619	-618	-617	-617	-616	-616	-615	-615	-614	-614	-613	-613	-613	-613	-613
	7.5	-613	-613	-613	-614	-614	-615	-615	-616	-617	-617	-618	-619	-619	-620	-620	-620	-620	-620	-620	-620	-619	-618	-617	-616	-615	-614	-613	-612	-611	-610	-609	-608	-607	-606	-606	-606	-605
	10.0	-606	-606	-607	-607	-608	-609	-610	-612	-613	-614	-615	-617	-618	-619	-620	-620	-620	-620	-620	-619	-619	-617	-616	-614	-613	-611	-609	-607	-605	-603	-601	-600	-599	-598	-597	-596	-596
	12.5	-597	-597	-598	-599	-600	-602	-603	-605	-608	-610	-612	-614	-616	-617	-619	-620	-620	-620	-620	-619	-618	-616	-614	-612	-610	-607	-604	-601	-598	-595	-593	-590	-588	-587	-585	-585	-584
	15.0	-586	-586	-587	-588	-590	-592	-595	-598	-601	-604	-607	-610	-613	-616	-618	-619	-620	-620	-620	-619	-617	-615	-613	-609	-606	-602	-598	-594	-590	-586	-582	-579	-576	-574	-572	-571	-571
	17.5	-572	-572	-574	-576	-578	-581	-585	-589	-593	-598	-602	-606	-610	-614	-616	-618	-620	-620	-620	-619	-617	-614	-610	-606	-602	-597	-591	-586	-580	-575	-570	-566	-562	-559	-557	-556	-555
	20.0	-557	-557	-559	-561	-564	-569	-574	-579	-584	-590	-596	-601	-607	-611	-615	-618	-619	-620	-620	-619	-616	-613	-608	-603	-597	-591	-584	-577	-570	-563	-557	-551	-547	-543	-540	-538	-537
	22.5	-539	-540	-542	-545	-549	-554	-561	-567	-574	-582	-589	-596	-602	-608	-613	-617	-619	-620	-620	-618	-615	-611	-606	-599	-592	-584	-575	-567	-558	-550	-542	-535	-529	-525	-521	-519	-518
	25.0	-520	-521	-523	-527	-532	-539	-546	-555	-563	-572	-581	-590	-598	-605	-611	-616	-619	-620	-620	-618	-615	-610	-603	-595	-586	-577	-567	-556	-546	-536	-527	-518	-511	-505	-501	-498	-497
	27.5	-499	-500	-503	-508	-514	-522	-531	-541	-551	-562	-573	-583	-593	-601	-609	-614	-618	-620	-620	-618	-614	-608	-600	-591	-581	-569	-557	-545	-533	-521	-510	-500	-491	-484	-479	-476	-475
	30.0	-477	-478	-481	-487	-494	-504	-514	-526	-538	-551	-564	-576	-587	-598	-606	-613	-618	-620	-620	-618	-613	-606	-597	-587	-575	-561	-547	-533	-519	-505	-492	-480	-470	-462	-456	-453	-451
	32.5	-454	-455	-459	-465	-474	-484	-497	-510	-525	-540	-554	-568	-582	-594	-604	-611	-617	-620	-620	-618	-612	-605	-594	-582	-568	-553	-537	-521	-504	-488	-473	-460	-449	-439	-432	-428	-427
	35.0	-429	-430	-435	-442	-452	-464	-478	-494	-510	-527	-544	-561	-576	-589	-601	-610	-616	-620	-620	-617	-611	-603	-591	-578	-562	-545	-526	-508	-489	-471	-454	-439	-426	-415	-408	-403	-401
_	37.5	-404	-405	-410	-418	-430	-443	-459	-477	-495	-515	-534	-552	-569	-585	-598	-608	-616	-620	-620	-617	-611	-601	-588	-573	-555	-536	-515	-494	-474	-453	-434	-417	-403	-391	-382	-377	-375
2	40.0	-377	-379	-385	-394	-407	-422	-440	-459	-480	-502	-523	-544	-563	-580	-595	-607	-615	-619	-620	-617	-610	-599	-585	-568	-548	-527	-504	-481	-458	-435	-414	-395	-379	-366	-356	-350	-348
2	42.5	-351	-353	-359	-369	-383	-400	-420	-441	-464	-488	-512	-535	-556	-575	-592	-605	-614	-619	-620	-617	-609	-597	-582	-563	-542	-518	-493	-467	-442	-417	-394	-373	-355	-341	-330	-324	-321
7	45.0	-324	-326	-333	-344	-359	-378	-399	-423	-449	-475	-501	-526	-550	-571	-589	-603	-613	-619	-620	-616	-608	-595	-579	-558	-535	-509	-482	-454	-426	-399	-374	-351	-331	-316	-304	-297	-294
┛	47.5	-297	-299	-307	-319	-335	-356	-379	-405	-433	-461	-490	-517	-543	-566	-586	-601	-612	-619	-620	-616	-607	-594	-575	-553	-528	-500	-471	-440	-410	-381	-354	-329	-308	-290	-278	-270	-267
	50.0	-270	-272	-280	-294	-311	-333	-359	-387	-417	-448	-478	-508	-536	-561	-582	-599	-612	-619	-620	-616	-607	-592	-572	-549	-521	-491	-460	-427	-394	-363	-334	-307	-284	-266	-252	-244	-241
	52.5	-243	-246	-255	-269	-288	-311	-339	-369	-401	-434	-467	-499	-529	-556	-579	-598	-611	-618	-620	-616	-606	-590	-569	-544	-515	-483	-449	-414	-379	-346	-314	-286	-261	-241	-227	-218	-215
-	55.0	-217	-220	-229	-244	-265	-290	-319	-351	-386	-421	-456	-491	-523	-551	-576	-596	-610	-618	-620	-616	-605	-589	-566	-540	-509	-475	-438	-401	-364	-329	-295	-265	-239	-218	-202	-193	-189
-	57.5	-192	-195	-205	-221	-242	-269	-300	-334	-371	-408	-446	-482	-516	-547	-573	-594	-609	-618	-620	-616	-604	-587	-564	-535	-503	-467	-428	-389	-350	-312	-277	-245	-217	-195	-178	-168	-165
-	60.0	-167	-1/1	-181	-198	-221	-249	-281	-318	-356	-396	-435	-474	-510	-542	-570	-592	-608	-618	-620	-616	-604	-586	-561	-531	-497	-459	-419	-378	-336	-297	-259	-226	-197	-173	-156	-145	-142
-	62.5	-144	-147	-158	-176	-200	-229	-264	-302	-342	-384	-425	-466	-504	-538	-567	-590	-608	-618	-620	-615	-603	-584	-559	-527	-491	-452	-410	-367	-324	-282	-243	-208	-1//	-153	-134	-123	-120
-	65.0	-122	-125	-137	-155	-180	-211	-247	-287	-329	-373	-416	-458	-498	-534	-564	-589	-607	-617	-620	-615	-603	-583	-556	-524	-487	-445	-402	-357	-312	-268	-227	-191	-159	-133	-115	-103	-99
-	67.5	-101	-105	-117	-136	-162	-194	-231	-273	-317	-362	-407	-451	-492	-530	-562	-587	-606	-617	-620	-615	-602	-582	-004	-521	-482	-439	-394	-347	-301	-256	-213	-1/5	-142	-116	-96	-84	-80
-	70.0	-82	-86	-98	-118	-140	-1/8	-217	-260	-305	-302	-399	-440	-487	-026	-003	-086	-605	-617	-620	-610	-602	-081	-003	-018	-478	-434	-387	-339	-291	-244	-200	-161	-127	-100	-79	-67	-63
-	72.0	-64	-69	-81	-102	-130	-164	-204	-248	-235	-343	-332	-439	-483	-023	-007	-084	-605	-617	-620	-610	-602	-580	-001	-010	-474	-423	-381	-331	-282	-234	-189	-149	-114	-85	-60	-52	-48
-	75.0	-43	-03	-66	-87	-116	-101	-192	-237	-285	-335	-385	-433	-473	-013	-000	-083	-604	-617	-620	-610	-601	-573	-000	-013	-971	-420	-375	-325	-274	-225	-179	-138	-102	-73	-92	-39	-34
-	11.0	-30	-40	-03	-74	-104	-140	-182	-228	-211	-328	-373	-428	470	-017	-003	-082	-603	-010	-620	-010	-601	-073	-043	-011	403	-921	-371	-318	-268	-218	-171	-128	-92	-63	-91	-27	-23
-	80.0	-24	-28	-92	-64	-34	-130	-173	-220	-270	-322	-379	-929	-972	-019	-001	-081	-603	-010	-620	-610	-601	-078	-048	-510	-967	-413	-368	-310	-262	-212	-164	-121	-84	-04	-32	-18	-14
-	62.0 OE 0	01-	-13	-33	-00	-80	-122	-166	-213	-264	-317	-370	-921	403	-012	-000	-060	-602	-010	-620	-010	-601	-976	-047	-503	400	-917	-360	-312	-208	-207	-103	-116	-78	-98	-20	-12	-7
	60.0 07.E	-8	-12	-26	-48	-73	-07	-160	-203	-260	-313	-307	-916	407	-011	-043	-073	-602	-010	-620	-010	-601	-976	-047	-503	404	-910	-363	-310	-206	-204	-106	-112	-/4	-43	-21	-7	-2
	67.0	-3	-/	-21	-44	-70	-113	-106	-200	-207	-311	-304	-410	400	-010	-046	-073	-602	-010	-620	-010	-601	-976	-047	-503	404	-910	-363	-303	-200	-203	-104	-110	-12	-91	-13	-0	- 0
	30.0	U	-0	-19	-42	-12	-110	-154	-203	-200	-309	-363	-410	-464	-503	-047	-978	-601	-616	-620	-616	-601	-978	-047	-003	-464	-410	-363	-303	-200	-203	-154	-110	-72	-42	-19	-0	0

# Magnetic Mud – Dip Error 1.5% SFE

Dip QC +/- 0.30 deg

Low Latitude - Malaysia

1      0      5      10      15      20      25      30      35      40      45      50      55      60      65      70      75      80      85      90      95      100      115      120      125      130      135      140      145      150      155      160      165        0.0      -0.02      -0	170 175 180 -0.02 -0.02 -0.02
00      0.02      0	-0.02 -0.02 -0.02
25    0.02    0.03    0.03    0.04    0.04    0.04    0.05    <	
50      0.06      0.05      0.06      0.06      0.06      0.06      0.06      0.06      0.06      0.06      0.07      0.07      0.08      0.08      0.09      0.09      0.08      0.08      0.09      0.09      0.08      0.07      0.07      0.08      0.08      0.08      0.08      0.09      0.09      0.08      0.08      0.09      0.09      0.09      0.08      0.08      0.09      0.08      0.08      0.09      0.08      0.08      0.09      0.09      0.08      0.08      0.09      0.08      0	-0.06 -0.06 -0.06
7.5      0.09      0.01      0.01      0.01      0.02      0.03      0.04      0.05      0.06      0.07      0.08      0.09      0.01      0.11	-0.09 -0.10 -0.10
10.0      0.13      0.13      0.12      0.12      0.12      0.11      0.10      0.09      0.09      0.09      0.09      0.09      0.09      0.09      0.09      0.09      0.09      0.01      0.01      0.00      0.00      0.01 <th< th=""><th>-0.13 -0.13 -0.13</th></th<>	-0.13 -0.13 -0.13
12.5    0.17    0.16    0.16    0.16    0.15    0.15    0.14    0.13    0.12    0.11    0.09    0.07    0.06    0.04    0.03    0.01    0.00    -0.05    -0.07    -0.08    -0.11    -0.13    -0.14    -0.15    -0.16    -0.17    -0.18    -0.19    -0.20    -0.20      15.0    0.20    0.20    0.20    0.19    0.18    0.17    0.16    0.12    0.11    0.09    0.07    0.06    0.04    0.00    -0.02    -0.04    -0.05    -0.07    -0.08    -0.11    -0.13    -0.14    -0.15    -0.16    -0.17    -0.18    -0.19    -0.20    -0.20    -0.04    -0.05    -0.06    -0.08    -0.01    -0.11    -0.14    -0.16    -0.17    -0.18    -0.12    -0.22    -0.23    -0.23      15.0    0.20    0.20    0.20    0.20    -0.04    -0.06    -0.08    -0.09    -0.11    -0.13    -0.14    -0.15    -0.16    -0.12    -0.22    -0.23    -0.23    -0.23    -0.24    -0.24 <td< th=""><th>-0.17 -0.17 -0.17</th></td<>	-0.17 -0.17 -0.17
15.0 0.20 0.20 0.20 0.19 0.19 0.18 0.17 0.16 0.15 0.14 0.12 0.11 0.09 0.07 0.06 0.04 0.02 0.00 -0.02 -0.04 -0.06 -0.08 -0.09 -0.11 -0.13 -0.14 -0.16 -0.17 -0.19 -0.20 -0.21 -0.22 -0.22 -0.23	-0.20 -0.20 -0.20
	-0.23 -0.23 -0.24
17.5 0.23 0.23 0.23 0.23 0.22 0.21 0.20 0.19 0.17 0.16 0.14 0.13 0.11 0.09 0.07 0.05 0.02 0.00 -0.02 -0.04 -0.06 -0.08 -0.10 -0.12 -0.14 -0.18 -0.19 -0.21 -0.22 -0.23 -0.24 -0.25 -0.26	-0.26 -0.27 -0.27
20.0 0.26 0.26 0.26 0.25 0.25 0.24 0.23 0.21 0.20 0.18 0.16 0.14 0.12 0.10 0.08 0.05 0.03 0.01 -0.02 -0.04 -0.07 -0.09 -0.11 -0.14 -0.16 -0.18 -0.20 -0.21 -0.23 -0.25 -0.26 -0.27 -0.28 -0.29	-0.29 -0.29 -0.30
22.5 0.29 0.29 0.29 0.28 0.27 0.26 0.25 0.24 0.22 0.20 0.18 0.16 0.14 0.11 0.09 0.06 0.04 0.01 -0.02 -0.04 -0.07 -0.10 -0.12 -0.15 -0.17 -0.19 -0.21 -0.23 -0.25 -0.27 -0.28 -0.29 0.30 -0.37	-0.32 -0.32 -0.32
25.0 032 031 031 0.31 0.30 0.29 0.27 0.26 0.24 0.22 0.20 0.18 0.15 0.12 0.10 0.07 0.04 0.01 -0.02 -0.05 -0.07 -0.10 -0.13 -0.16 -0.18 -0.21 -0.23 -0.25 -0.27 -0.29 -0.30 -0.32 -0.33 -0.34	-0.34 -0.34 -0.35
27.5 0.34 0.34 0.34 0.33 0.32 0.31 0.30 0.28 0.26 0.24 0.21 0.19 0.16 0.14 0.11 0.08 0.05 0.01 -0.02 -0.05 -0.08 -0.11 -0.14 -0.17 -0.19 -0.22 -0.24 -0.27 -0.29 -0.31 -0.32 -0.34 -0.35 -0.36	-0.36 -0.37 -0.37
30.0 0.37 0.36 0.36 0.35 0.34 0.33 0.31 0.30 0.28 0.25 0.23 0.20 0.17 0.14 0.11 0.08 0.05 0.02 -0.02 -0.05 -0.08 -0.11 -0.14 -0.17 -0.20 -0.23 -0.26 -0.28 -0.30 -0.32 -0.34 -0.35 -0.36 -0.37	-0.38 -0.38 -0.39
32.5 0.38 0.38 0.38 0.37 0.36 0.35 0.33 0.31 0.29 0.27 0.24 0.21 0.18 0.15 0.12 0.09 0.05 0.02 -0.01 -0.05 -0.08 -0.12 -0.15 -0.18 -0.21 -0.24 -0.27 -0.29 -0.31 -0.33 -0.35 -0.37 -0.38 -0.39	-0.40 -0.40 -0.40
35.0 040 040 0.39 0.39 0.38 0.38 0.34 0.33 0.30 0.28 0.25 0.22 0.19 0.16 0.13 0.09 0.06 0.02 -0.01 -0.05 -0.08 -0.12 -0.15 -0.19 -0.22 -0.25 -0.27 -0.30 -0.32 -0.34 -0.36 -0.38 -0.39 -0.40	-0.41 -0.41 -0.41
37.5 0.41 0.41 0.41 0.40 0.39 0.37 0.36 0.34 0.31 0.29 0.26 0.23 0.20 0.17 0.13 0.10 0.06 0.02 -0.01 -0.05 -0.09 -0.12 -0.16 -0.19 -0.22 -0.25 -0.28 -0.31 -0.33 -0.35 -0.37 -0.39 -0.40 -0.41	-0.42 -0.42 -0.42
40.0 0.42 0.42 0.42 0.41 0.40 0.38 0.36 0.34 0.32 0.29 0.27 0.24 0.20 0.17 0.14 0.10 0.06 0.03 -0.01 -0.05 -0.09 -0.12 -0.16 -0.19 -0.22 -0.25 -0.28 -0.31 -0.33 -0.36 -0.38 -0.39 -0.41 -0.47	-0.42 -0.43 -0.43
42.5 0.43 0.43 0.42 0.41 0.40 0.39 0.37 0.35 0.33 0.30 0.27 0.24 0.21 0.17 0.14 0.10 0.06 0.03 -0.01 -0.05 -0.09 -0.12 -0.16 -0.19 -0.23 -0.26 -0.29 -0.31 -0.34 -0.36 -0.38 -0.39 -0.41 -0.47	-0.43 -0.43 -0.43
45.0 0.43 0.43 0.43 0.42 0.41 0.39 0.37 0.35 0.33 0.30 0.27 0.24 0.21 0.18 0.14 0.10 0.07 0.03 -0.01 -0.05 -0.09 -0.12 -0.16 -0.19 -0.23 -0.26 -0.29 -0.31 -0.34 -0.36 -0.38 -0.39 -0.41 -0.47	-0.43 -0.43 -0.43
47.5 0.43 0.43 0.43 0.42 0.41 0.39 0.37 0.35 0.33 0.30 0.27 0.24 0.21 0.18 0.14 0.10 0.07 0.03 -0.01 -0.05 -0.08 -0.12 -0.16 -0.19 -0.22 -0.25 -0.28 -0.31 -0.33 -0.36 -0.37 -0.39 -0.40 -0.41	-0.42 -0.43 -0.43
50.0 043 0.43 0.42 0.41 0.40 0.39 0.37 0.35 0.33 0.30 0.27 0.24 0.21 0.17 0.14 0.10 0.07 0.03 -0.01 -0.05 -0.08 -0.12 -0.15 -0.19 -0.22 -0.25 -0.28 -0.30 -0.33 -0.35 -0.37 -0.38 -0.40 -0.41	-0.42 -0.42 -0.42
52.5 0.42 0.42 0.42 0.41 0.40 0.38 0.36 0.34 0.32 0.30 0.27 0.24 0.21 0.17 0.14 0.10 0.07 0.03 -0.01 -0.04 -0.08 -0.12 -0.15 -0.18 -0.21 -0.24 -0.27 -0.30 -0.32 -0.34 -0.36 -0.38 -0.39 -0.40	-0.41 -0.41 -0.41
55.0 0.41 0.41 0.41 0.40 0.39 0.37 0.36 0.34 0.31 0.29 0.26 0.23 0.20 0.17 0.13 0.10 0.06 0.03 -0.01 -0.04 -0.08 -0.11 -0.15 -0.18 -0.21 -0.24 -0.26 -0.29 -0.31 -0.33 -0.35 -0.36 -0.38 -0.39	-0.39 -0.40 -0.40
57.5 0.40 0.40 0.39 0.39 0.37 0.38 0.34 0.33 0.30 0.28 0.25 0.22 0.19 0.16 0.13 0.10 0.06 0.03 -0.01 -0.04 -0.07 -0.11 -0.14 -0.17 -0.20 -0.23 -0.25 -0.28 -0.30 -0.32 -0.33 -0.35 -0.36 -0.37	-0.38 -0.38 -0.38
60.0 0.38 0.38 0.38 0.37 0.36 0.35 0.33 0.31 0.29 0.27 0.24 0.22 0.19 0.16 0.13 0.09 0.06 0.03 -0.01 -0.04 -0.07 -0.10 -0.13 -0.16 -0.19 -0.22 -0.24 -0.26 -0.28 -0.30 -0.32 -0.33 -0.34 -0.35	-0.36 -0.36 -0.36
62.5 0.36 0.36 0.36 0.35 0.34 0.33 0.31 0.30 0.28 0.25 0.23 0.20 0.18 0.15 0.12 0.09 0.06 0.03 0.00 -0.04 -0.07 -0.10 -0.12 -0.15 -0.18 -0.20 -0.23 -0.25 -0.27 -0.28 -0.30 -0.31 -0.32 -0.35	-0.34 -0.34 -0.34
65.0 0.34 0.34 0.34 0.33 0.32 0.31 0.30 0.28 0.26 0.24 0.22 0.19 0.17 0.14 0.11 0.08 0.05 0.03 0.00 -0.03 -0.06 -0.09 -0.12 -0.14 -0.17 -0.19 -0.21 -0.23 -0.25 -0.26 -0.28 -0.29 -0.30 -0.37	-0.31 -0.32 -0.32
67.5 0.32 0.32 0.31 0.31 0.30 0.29 0.27 0.26 0.24 0.22 0.20 0.18 0.15 0.13 0.10 0.08 0.05 0.02 0.00 -0.03 -0.06 -0.08 -0.11 -0.13 -0.15 -0.17 -0.19 -0.21 -0.23 -0.24 -0.25 -0.26 -0.27 -0.28	-0.29 -0.29 -0.29
70.0 0.29 0.29 0.29 0.28 0.27 0.26 0.25 0.24 0.22 0.20 0.18 0.16 0.14 0.12 0.10 0.07 0.05 0.02 0.00 -0.03 -0.05 -0.07 -0.10 -0.12 -0.14 -0.16 -0.17 -0.19 -0.20 -0.22 -0.23 -0.24 -0.25 -0.25	-0.26 -0.26 -0.26
72.5 0.26 0.26 0.26 0.25 0.25 0.25 0.24 0.23 0.21 0.20 0.18 0.17 0.15 0.13 0.11 0.09 0.06 0.04 0.02 0.00 -0.02 -0.04 -0.07 -0.08 -0.10 -0.12 -0.14 -0.15 -0.17 -0.18 -0.19 -0.20 -0.21 -0.22 -0.22	-0.23 -0.23 -0.23
75.0 0.23 0.23 0.23 0.22 0.22 0.21 0.20 0.19 0.18 0.16 0.15 0.13 0.11 0.09 0.08 0.06 0.04 0.02 0.00 -0.02 -0.04 -0.06 -0.07 -0.09 -0.11 -0.12 -0.13 -0.14 -0.16 -0.17 -0.17 -0.18 -0.19 -0.19	-0.19 -0.20 -0.20
77.5 0.20 0.20 0.20 0.19 0.19 0.19 0.18 0.17 0.16 0.15 0.14 0.12 0.11 0.10 0.08 0.06 0.05 0.03 0.02 0.00 -0.02 -0.03 -0.05 -0.06 -0.08 -0.09 -0.10 -0.11 -0.12 -0.13 -0.14 -0.14 -0.15 -0.15 -0.16 -0.16	-0.16 -0.16 -0.16
80.0 0.17 0.17 0.16 0.16 0.16 0.16 0.15 0.14 0.13 0.12 0.11 0.10 0.09 0.08 0.07 0.05 0.04 0.03 0.01 0.00 -0.01 -0.03 -0.04 -0.05 -0.06 -0.07 -0.08 -0.09 -0.10 -0.10 -0.11 -0.12 -0.12 -0.12 -0.12	-0.13 -0.13 -0.13
82.5 0.13 0.13 0.13 0.13 0.13 0.12 0.12 0.11 0.10 0.10 0.09 0.08 0.07 0.06 0.05 0.04 0.03 0.02 0.01 0.00 -0.01 -0.02 -0.03 -0.04 -0.04 -0.05 -0.06 -0.06 -0.07 -0.07 -0.08 -0.08 -0.08 -0.09 -0.09	-0.09 -0.09 -0.09
85.0 0.09 0.09 0.09 0.09 0.09 0.09 0.09 0	-0.05 -0.05 -0.05
87.5 0.06 0.06 0.06 0.06 0.06 0.05 0.05 0.	-0.02 -0.02 -0.02
90.0 0.02 0.02 0.02 0.02 0.02 0.02 0.02	0.02 0.02 0.02

# Magnetic Mud – Azimuth Error 1.5% SFE

### Low Latitude – Malaysia

	Azimuth																																					
		0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125	130	135	140	145	150	155	160	165	170	175	180
	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	2.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	5.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	7.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
	10.0	0.00	0.00	0.00	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	0.00	Az	imu	th	Em	or r	nat i	sia	nific	ez n	2	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00
	12.5	0.00	0.00	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	·						- 9			2	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00
	15.0	0.00	0.00	-0.01	-0.01	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.03	-0.03	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.01	-0.01	0.00	0.00	0.01	.01	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01	0.00
	17.5	0.00	-0.01	-0.01	-0.02	-0.02	-0.03	-0.03	-0.03	-0.03	-0.04	-0.03	-0.03	-0.03	-0.02	-0.02	-0.01	-0.01	0.00	0.01	0.01	0.02	0.03	0.03	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.03	0.03	0.02	0.01	0.01	0.00
1	20.0	0.00	-0.01	-0.02	-0.02	-0.03	-0.04	-0.04	-0.04	-0.05	-0.05	-0.05	-0.04	-0.04	-0.03	-0.03	-0.02	-0.01	0.00	0.01	0.02	0.02	0.03	0.04	0.05	0.05	0.05	0.06	0.06	0.05	0.05	0.05	0.04	0.04	0.03	0.02	0.01	0.00
1	2.5	0.00	-0.01	-0.02	-0.03	-0.04	-0.05	-0.05	-0.06	-0.06	-0.06	-0.06	-0.05	-0.05	-0.04	-0.03	-0.02	-0.01	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.06	0.07	0.07	0.07	0.07	0.06	0.06	0.05	0.04	0.03	0.02	0.01	0.00
1	5.0	0.00	-0.01	-0.03	-0.04	-0.05	-0.06	-0.06	-0.07	-0.07	-0.07	-0.07	-0.07	-0.06	-0.05	-0.04	-0.03	-0.02	-024	0.01	0.02	0.03	0.05	0.06	0.07	0.07	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.07	0.06	0.05	0.04	0.03	0.01	0.00
1	7.5	0.00	-0.02	-0.03	-0.04	-0.06	-0.07	-0.08	-0.08	-0.09	-0.09	-0.08	-0.08	-0.07	-0.06	-0.05	-0.04	-0.02	21	0.01	0.02	0.04	0.05	0.07	0.08	0.09	0.09	0.10	0.10	0.10	0.09	0.08	0.07	0.06	0.05	0.03	0.02	0.00
1	0.0	0.00	-0.02	-0.04	-0.05	-0.07	-0.08	-0.09	-0.10	-0.10	-0.10	-0.10	-0.10	-0.09	-0.08	-0.06	-0.05	-0.03	-0.01	0.01	0.03	0.05	0.06	0.08	0.09	0.10	0.11	0.11	0.12	0.11	0.11	0.10	0.09	0.07	0.06	0.04	0.02	0.00
1	2.5	0.00	-0.02	-0.04	-0.06	-0.08	-0.09	-0.10	-0.11	-0.12	-0.12	-0.12	-0.11	-0.10	-0.09	-0.07	-0.05	-0.03	-0.01	0.01	0.03	0.05	0.07	0.09	0.10	0.12	0.13	0.13	0.13	0.13	0.12	0.11	0.10	0.08	0.07	0.04	0.02	0.00
3	5.0	0.00	-0.02	-0.05	-0.07	-0.09	-0.11	-0.12	-0.13	-0.13	-0.14	-0.13	-0.13	-0.12	-0.10	-0.08	-0.06	-0.04	-0.02	0.01	0.03	0.06	0.08	0.10	0.12	0.13	0.14	0.15	0.15	0.15	0.14	0.13	0.11	0.10	0.07	0.05	0.03	0.00
3	7.5	0.00	-0.03	-0.05	-0.08	-0.10	-0.12	-0.13	-0.15	-0.15	-0.15	-0.15	-0.14	-0.13	-0.11	-0.09	-0.07	-0.05	-0.02	0.01	0.04	0.07	0.09	0.11	0.13	0.15	0.16	0.17	0.17	0.17	0.16	0.14	0.13	0.11	0.08	0.06	0.03	0.00
5	0.0	0.00	-0.03	-0.06	-0.09	-0.11	-0.13	-0.15	-0.16	-0.17	-0.17	-0.17	-0.16	-0.15	-0.13	-0.11	-0.08	-0.05	-0.02	0.01	0.04	0.07	0.10	0.13	0.15	0.16	0.18	0.18	0.19	0.18	0.17	0.16	0.14	0.12	0.09	0.06	0.03	0.00
5	2.5	0.00	-0.03	-0.07	-0.10	-0.12	-0.15	-0.17	-0.18	-0.19	-0.19	-0.19	-0.18	-0.16	-0.14	-0.12	-0.09	-0.06	-0.02	0.01	0.04	0.08	0.11	0.14	0.16	0.18	0.20	0.20	0.21	0.20	0.19	0.18	0.16	0.13	0.10	0.07	0.04	0.00
5	5.0	0.00	-0.04	-0.07	-0.11	-0.14	-0.16	-0.18	-0.20	-0.21	-0.21	-0.21	-0.20	-0.18	-0.16	-0.13	-0.10	-0.06	-0.03	0.01	0.05	0.08	0.12	0.15	0.18	0.20	0.21	0.22	0.22	0.22	0.21	0.19	0.17	0.14	0.11	0.08	0.04	0.00
	7.5	0.00	-0.04	-0.08	-0.12	-0.15	-0.18	-0.20	-0.22	-0.23	-0.23	-0.22	-0.21	-0.20	-0.17	-0.14	-0.11	-0.07	-0.03	0.01	0.05	0.09	0.13	0.16	0.19	0.21	0.23	0.24	0.24	0.24	0.23	0.21	0.18	0.15	0.12	0.08	0.04	0.00
Ę	0.0	0.00	-0.04	-0.09	-0.12	-0.16	-0.19	-0.22	-0.23	-0.24	-0.25	-0.24	-0.23	-0.21	-0.19	-0.15	-0.12	-0.08	-0.03	0.01	0.05	0.10	0.14	0.17	0.21	0.23	0.25	0.26	0.26	0.26	0.24	0.23	0.20	0.17	0.13	0.09	0.04	0.00
Ę	2.5	0.00	-0.05	-0.09	-0.13	-0.17	-0.20	-0.23	-0.25	-0.26	-0.27	-0.26	-0.25	-0.23	-0.20	-0.17	-0.13	-0.08	-0.04	0.01	0.06	0.10	0.15	0.19	0.22	0.25	0.27	0.28	0.28	0.28	0.26	0.24	0.21	0.18	0.14	0.09	0.05	0.00
1	5.0	0.00	-0.05	-0.10	-0.14	-0.18	-0.22	-0.25	-0.27	-0.28	-0.28	-0.28	-0.27	-0.24	-0.22	-0.18	-0.14	-0.09	-0.04	0.01	0.06	0.11	0.16	0.20	0.23	0.26	0.28	0.29	0.30	0.29	0.28	0.26	0.23	0.19	0.15	0.10	0.05	0.00
1	57.5	0.00	-0.05	-0.10	-0.15	-0.19	-0.23	-0.26	-0.28	-0.30	-0.30	-0.30	-0.28	-0.26	-0.23	-0.19	-0.15	-0.10	-0.04	0.01	0.06	0.12	0.16	0.21	0.25	0.28	0.30	0.31	0.32	0.31	0.29	0.27	0.24	0.20	0.16	0.11	0.05	0.00
1	0.0	0.00	-0.06	-0.11	-0.16	-0.21	-0.24	-0.28	-0.30	-0.31	-0.32	-0.31	-0.30	-0.27	-0.24	-0.20	-0.15	-0.10	-0.05	0.01	0.07	0.12	0.17	0.22	0.26	0.29	0.31	0.33	0.33	0.33	0.31	0.29	0.25	0.21	0.16	0.11	0.06	0.00
1	2.5	0.00	-0.06	-0.11	-0.17	-0.22	-0.26	-0.29	-0.32	-0.33	-0.34	-0.33	-0.31	-0.29	-0.25	-0.21	-0.16	-0.11	-0.05	0.01	0.07	0.13	0.18	0.23	0.27	0.30	0.33	0.34	0.35	0.34	0.32	0.30	0.26	0.22	0.17	0.12	0.06	0.00
1	5.0	0.00	-0.06	-0.12	-0.18	-0.23	-0.27	-0.30	-0.33	-0.35	-0.35	-0.35	-0.33	-0.30	-0.27	-0.22	-0.17	-0.11	-0.05	0.01	0.07	0.13	0.19	0.24	0.28	0.32	0.34	0.36	0.36	0.36	0.34	0.31	0.28	0.23	0.18	0.12	0.06	0.00
- 1	7.5	0.00	-0.06	-0.12	-0.18	-0.23	-0.28	-0.32	-0.34	-0.36	-0.36	-0.36	-0.34	-0.32	-0.28	-0.23	-0.18	-0.12	-0.06	0.01	0.07	0.13	0.19	0.25	0.29	0.33	0.35	0.37	0.38	0.37	0.35	0.32	0.29	0.24	0.19	0.13	0.06	0.00
	0.0	0.00	-0.07	-0.13	-0.19	-0.24	-0.29	-0.33	-0.35	-0.37	-0.38	-0.37	-0.35	-0.33	-0.29	-0.24	-0.19	-0.13	-0.06	0.01	0.07	0.14	0.20	0.25	0.30	0.34	0.37	0.38	0.39	0.38	0.36	0.33	0.29	0.25	0.19	0.13	0.07	0.00
	2.5	0.00	-0.07	-0.13	-0.19	-0.25	-0.30	-0.34	-0.37	-0.38	-0.39	-0.38	-0.37	-0.34	-0.30	-0.25	-0.19	-0.13	-0.06	0.01	0.07	0.14	0.20	0.26	0.31	0.35	0.38	0.39	0.40	0.39	0.37	0.34	0.30	0.25	0.20	0.13	0.07	0.00
	5.0	0.00	-0.07	-0.14	-0.20	-0.26	-0.31	-0.35	-0.38	-0.39	-0.40	-0.39	-0.38	-0.35	-0.31	-0.26	-0.20	-0.13	-0.07	0.01	0.08	0.14	0.21	0.27	0.32	0.36	0.38	0.40	0.41	0.40	0.38	0.35	0.31	0.26	0.20	0.14	0.07	0.00
	7.5	0.00	-0.07	-0.14	-0.20	-0.26	-0.31	-0.35	-0.38	-0.40	-0.41	-0.40	-0.39	-0.36	-0.31	-0.26	-0.20	-0.14	-0.07	0.00	0.08	0.15	0.21	0.27	0.32	0.36	0.39	0.41	0.42	0.41	0.39	0.36	0.32	0.27	0.21	0.14	0.07	0.00
1	0.0	0.00	-0.07	-0.14	-0.21	-0.27	-0.32	-0.36	-0.39	-0.41	-0.42	-0.41	-0.39	-0.36	-0.32	-0.27	-0.21	-0.14	-0.07	0.00	0.08	0.15	0.21	0.27	0.33	0.37	0.40	0.42	0.42	0.42	0.40	0.36	0.32	0.27	0.21	0.14	0.07	0.00
1	2.5	0.00	-0.07	-0.14	-0.21	-0.27	-0.32	-0.37	-0.40	-0.42	-0.42	-0.42	-0.40	-0.37	-0.33	-0.27	-0.21	-0.14	-0.07	0.00	0.08	0.15	0.22	0.28	0.33	0.37	0.40	0.42	0.43	0.42	0.40	0.37	0.33	0.27	0.21	0.15	0.07	0.00
1	15.0	0.00	-0.07	-0.15	-0.21	-0.27	-0.33	-0.37	-0.40	-0.42	-0.43	-0.42	-0.40	-0.37	-0.33	-0.28	-0.21	-0.15	-0.07	0.00	0.08	0.15	0.22	0.28	0.33	0.38	0.41	0.43	0.43	0.42	0.40	0.37	0.33	0.28	0.21	0.15	0.07	0.00
1	17.5	0.00	-0.07	-0.15	-0.21	-0.28	-0.33	-0.37	-0.40	-0.42	-0.43	-0.43	-0.41	-0.37	-0.33	-0.28	-0.22	-0.15	-0.07	0.00	0.08	0.15	0.22	0.28	0.33	0.38	0.41	0.43	0.43	0.43	0.41	0.37	0.33	0.28	0.21	0.15	0.07	0.00
1	10.0	0.00	-0.07	-0.15	-0.22	-0.28	-0.33	-0.37	-0.41	-0.43	-0.43	-0.43	-0.41	-0.38	-0.33	-0.28	-0.22	-0.15	-0.08	0.00	0.08	0.15	0.22	0.28	0.33	0.38	0.41	0.43	0.43	0.43	0.41	0.37	0.33	0.28	0.22	0.15	0.07	0.00

## SFE Error example – Btotal – Pumps On vs. Pumps Off

Btotal QC +/- 300 nT

Mid Latitude – North Sea



## SFE Error example – Dip – Pumps On vs. Pumps Off

Dip QC +/- 0.30 deg

Mid Latitude – North Sea



© 2009 Halliburton. All Rights Reserved.

### SFE Error example – Azimuth – Pumps On vs. Pumps Off

### Mid-High Latitude – North Sea



#### HALLIBURTON

## Magnetic Mud – Azimuth -1.5% vs. -4.0% SFE

Low Latitude – Malaysia



#### © 2009 Halliburton. All Rights Reserved.

#### HALLIBURTON



High Latitude – Alaska



# Summary

- Pumps On surveys have shown to be helpful to identify magnetic mud
  - Sensitivity Analysis should be performed to help determine wellbore position error
  - Avoid unnecessary trips caused by directional survey QC failure
- Pumps On surveys can help confirm SFE correction performed with MSA

Basic survey QC failure doesn't always represent significant azimuth error and vice versa

# End