

Postbus 260
2600 AG DELFT

tel. 015-285 0125
fax. 015-285 0126
vortech@vortech.nl

Testverslag uniformering WAQUA/TRIWAQ: fase 5

Technisch Rapport

TR06-09, versie 0.8

Datum

17 november 2006

Auteur(s)

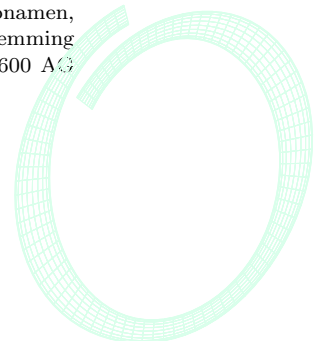
dr.ir. G.E. Loots
dr.ir. E.A.H. Vollebregt

In opdracht van

Rijkswaterstaat/RIKZ (overeenkomst RKZ-1629,
change c67309)

Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enigerlei wijze hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen, of op enige andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de opdrachtgever danwel VORtech Computing, Postbus 260, 2600 AG DELFT.

© VORtech Computing 2006.



Log-sheet

Versie	Auteur	Datum	Opmerkingen	Review
0.1	EL	10-10-2006	Eerste opzet van rapport	
0.4	EL, EV	30-10-2006	Resultaten m.b.t. deel 1 - 2D/3D functionaliteit	
0.8	EL, EV	14-11-2006	Resultaten m.b.t. deel 2 - print-routines	
Bestandslokatie: /v3/E05q-simona_bo/c67309-f5-unif-wqtrw/test_rapport				

Inhoudsopgave

Log-sheet	2
1 Inleiding	4
1.1 Achtergrond van het huidige project	4
1.2 Doel van het huidige project	4
1.3 Indeling van dit rapport	4
1.4 Gevraagde aanpassingen aan de programmatuur	4
2 Beschikbaar maken van functionaliteit in WAQUA en TRIWAQ	5
2.1 Uitwerking van activiteit 1 - harmonische analyse	5
2.2 Uitwerking van activiteit 2 - QH openingen	6
2.3 Uitwerking van activiteit 3 - Lagrangiaanse integralen	7
2.4 Uitwerking van activiteit 5 - Maximale waardes	8
3 Mergen van eenvoudige rekenroutines in WAQUA en TRIWAQ	15
3.1 Uitwerking van activiteit 1 - berekenen time-histories FLOW	15
3.2 Uitwerking van activiteit 2 - berekenen time-histories TRANSPORT	17
3.3 Uitwerking van activiteit 3 - printen van berekende FLOW data (maps)	17
3.4 Uitwerking van activiteit 4 - printen van berekende TRANSPORT data (maps)	19
3.5 Uitwerking van activiteit 5 - printen van history data voor FLOW	19
3.6 Uitwerking van activiteit 6 - printen van history data voor TRANSPORT	20
3.7 Uitwerking van activiteit 7 - Euleriaanse tijdsintegralen	20
4 Conclusies en aanbevelingen	22

Hoofdstuk 1

Inleiding

- 1.1 Achtergrond van het huidige project
- 1.2 Doel van het huidige project
- 1.3 Indeling van dit rapport
- 1.4 Gevraagde aanpassingen aan de programmatuur

Hoofdstuk 2

Beschikbaar maken van functionaliteit in WAQUA en TRIWAQ

Functionaliteit die nu in een van de twee modellen (WAQUA / TRIWAQ) beschikbaar is en gemakkelijk kan worden gegeneraliseerd kan ook voor het andere model beschikbaar worden gemaakt.

2.1 Uitwerking van activiteit 1 - harmonische analyse

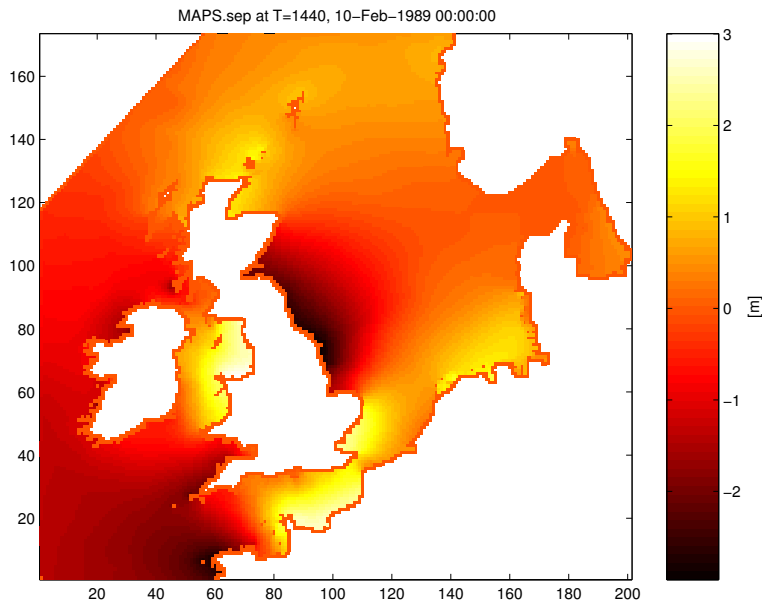
In TRIWAQ-berekeningen kan harmonische analyse van de verticaal gemiddelde snelheid `umean/vmean` mogelijk worden gemaakt. Dit is een gemakkelijke aanpassing in een koproutine en verwijderen van een controle uit `waqpre`. De meeste tijd gaat nog zitten in het testen van de aanpassingen.

Het programmeren is aldus gebeurd. In de testbank bevinden zich momenteel vier modellen met harmonische analyse, voor de u -snelheid, allen zonder splitting. Daarvan is het model `csm8.wq.0kalman` genomen.

Achtereenvolgens zijn de volgende vergelijkende tests uitgevoerd:

- Test 1: de WAQUA-simulatie met de oude en nieuwe code. Dit levert geen verschil.
- Test 2: Het probleem wordt als TRIWAQ-model met `kmax= 1` uitgevoerd en vergeleken met de WAQUA-uitkomst. Dit moet uiteraard met de nieuwe code, de oude geeft hier een foutmelding. Er zijn, wegens de verschillende oplosmethoden, enige verschillen tussen WAQUA en TRIWAQ, zoals te zien is in figuur 2.2.
- Test 3: TRIWAQ met `kmax= 1` en met `kmax= 2`. De drie grootheden `amplitude`, `phase` en `azero` (de amplitude voor de nulrequentie) zijn afgebeeld in de figuren 2.4, 2.5 en 2.6.

Hoewel er uiteraard verschillen zijn komen er uit de harmonische analyse van de snelheden zinnige waarden. De uniformering, waarbij voor TRIWAQ met de verticaal gemiddelde



Figuur 2.1: *Harmonische analyse: het csm8- model*

snelheid wordt gewerkt, levert voor het onderdeel harmonische analyse dus geen problemen op.

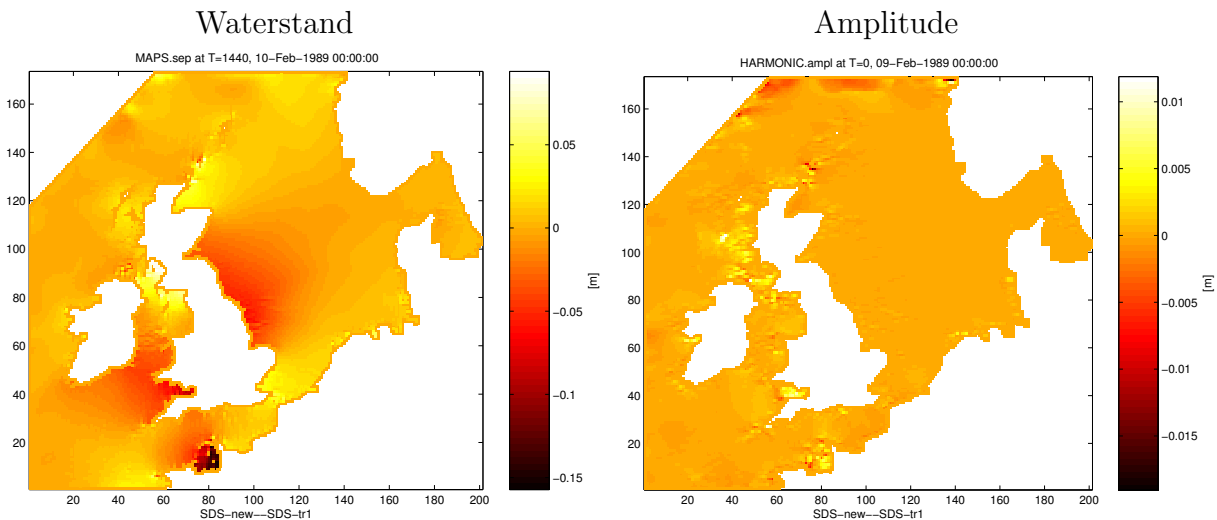
2.2 Uitwerking van activiteit 2 - QH openingen

In TRIWAQ-berekeningen met meerdere lagen kunnen QH-openingen worden toegestaan door de verticaal gemiddelde snelheid `umean/vmean` te gebruiken. Ook dit is een eenvoudige aanpassing.

Deze actie behelst het doorgeven van `umean` en `vmean` in plaats van `up` en `vp` vanuit routine `wassff` naar `wasfqh`.

Als testgeval is het `Lek2`-model genomen. Achtereenvolgens zijn de volgende vergelijkende tests uitgevoerd:

- Test 1: de WAQUA-simulatie met de oude en nieuwe code. Dit levert geen verschil.
- Test 2: Het probleem wordt als TRIWAQ-model met `kmax= 1` uitgevoerd en vergeleken met de WAQUA-uitkomst.. Dit moet uiteraard met de nieuwe code, de oude geeft hier een foutmelding. Een opvallend verschil is het feit dat er bij TRIWAQ in de onderrand spiegelpunten gedefinieerd zijn, zie figuur 2.7. Om de vergelijking eerlijker te maken zijn deze spiegelpunten uit het veld verwijderd. Het resultaat is te zien in figuur 2.8 (links).
- test3: TRIWAQ met `kmax= 1` en met `kmax= 2`. Dit levert weer een tamelijk groot maar niet verontrustend verschil op, zie figuur 2.8 (rechts).



Figuur 2.2: *Harmonische analyse: verschillen in waterstand en amplitude: WAQUA en 1-laags TRIWAQ*

2.3 Uitwerking van activiteit 3 - Lagrangiaanse integralen

De berekening van Lagrangiaanse tijdsintegralen is inmiddels in WAQUA mogelijk gemaakt. Nu de data-structuur van WAQUA op die van TRIWAQ is afgestemd vergt dit alleen nog het uitschakelen van bepaalde controles en het wegschrijven van resultaten in WAQUA-runs.

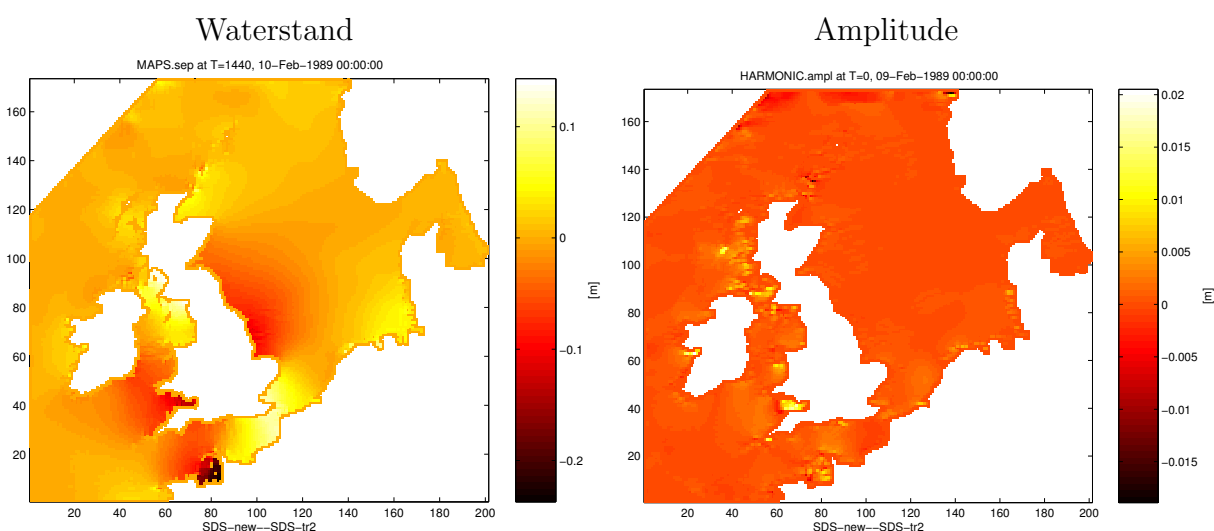
De routines voor de (voorheen 3D-) Lagrangiaanse integralen worden nu in alle gevallen aangeroepen.

Overigens is het nodig dat de eigen postprocessing in Matlab (`ReadWaq`) nog wordt aangepast omdat daarin de relatie Lagrangiaans-3D werd verondersteld. Wellicht treedt dit probleem ook op in andere postprocessing-tools.

Als testgeval uit de testbank wordt het `intlgr` model gebruikt. Dit is een TRIWAQ-model. Er zijn weer twee soortgelijke invoerfiles bijgemaakt, TRIWAQ met `kmax=1` en WAQUA.

- Test 1: de TRIWAQ-simulatie (`kmax=1`) met de oude en nieuwe code. Dit levert geen verschil.
- Test 2: TRIWAQ (`kmax=1`) vergeleken met WAQUA. De waterstanden verschillen uiteraard weer enigszins. Van belang zijn nu de verschillen tussen `xdlagr`, `ydlagr` en `zdlagr`. Deze worden getoond in de figuren 2.9, 2.10 en 2.11. Uiteraard zijn de integralen in z -richting indientiek nul.

Merk op dat er weer een groot verschil aan een rand optreedt; dit heeft weer te maken met het vermelde spiegelen in TRIWAQ.



Figuur 2.3: *Harmonische analyse: verschillen in waterstand en amplitude: WAQUA en 2-laags TRIWAQ*

2.4 Uitwerking van activiteit 5 - Maximale waarden

De berekening van maximale waarden gedurende de simulatie was tot dusver in TRIWAQ alleen toegestaan wanneer er slechts een laag werd gebruikt. Het idee is om in deze berekening de verticaal gemiddelde snelheid te gebruiken en deze optie met meer lagen toe te staan. Dit is een kleine ingreep (een logisch vervolg is de maximale snelheden over alle lagen te nemen). Uiteraard geldt deze activiteit ook voor de berekening van minimale waarden.

Analoog aan voorgaande aanpassingen is de combinatie `up`, `vp` weer vervangen door `umean`, `vmean` en zijn de foutmeldingen verwijderd.

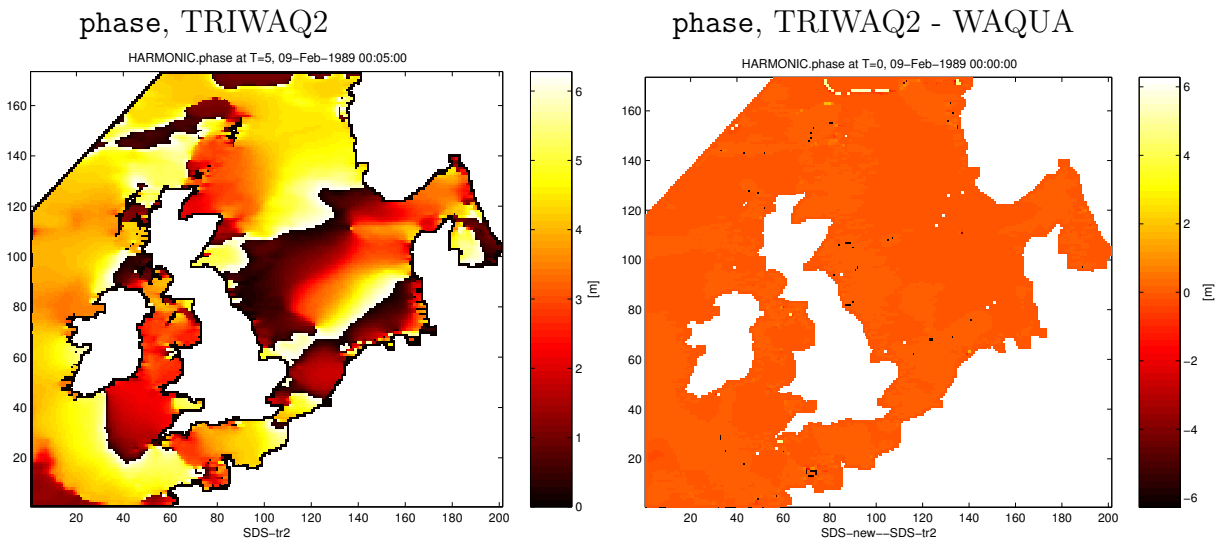
Er is verder geen geschikte test in de testbank beschikbaar; de enige met 'maxval'-resultaten heeft overlaten en is dus niet bruikbaar in TRIWAQ. Daarom zijn we uitgegaan van het reeds gebruikte `Lek2`-model en hebben in de invoerfile de maxima en minima voor alle vier grootheden `sep`, `up`, `vp` en `mgn` gevraagd.

De verschillen tussen de oude en nieuwe code zijn weer identiek nul. In figuren 2.12 is de maximale u -snelheid voor 1-laags TRIWAQ afgebeeld, samen met het verschil voor 2-laags TRIWAQ. Er zijn in bepaalde cellen tamelijk grote afwijkingen, welke te maken lijken te hebben met droogvallen.

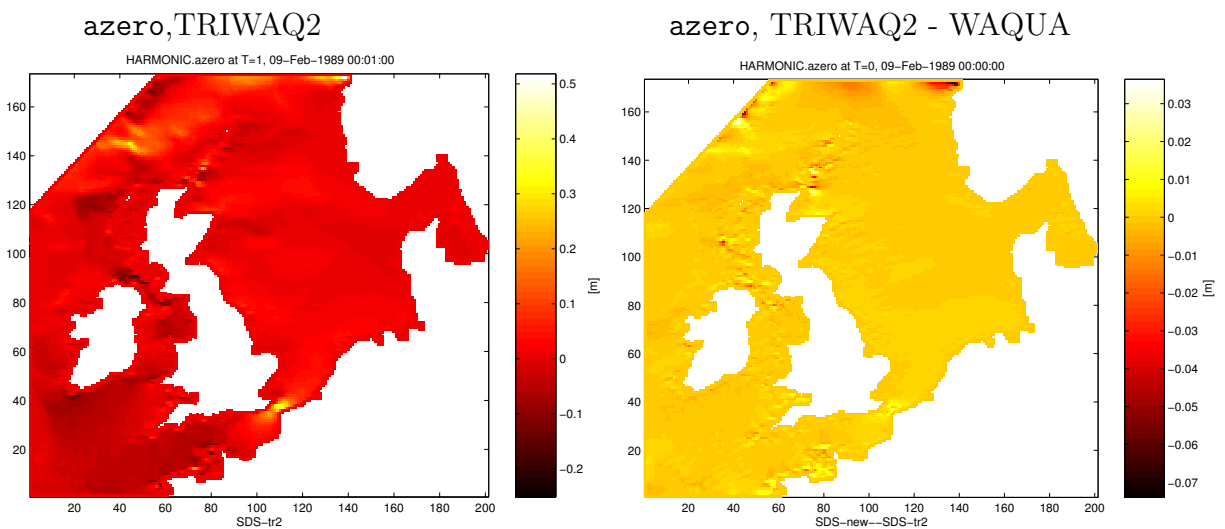
De verschillen kunnen we mede verklaren doordat de extremen van de twee lagen worden gemiddeld; dit is te zien in figuur 2.13, welke de maxima van 2-laags TRIWAQ toont en waar het bereik inderdaad beperkter is.

Het beeld voor de minimale snelheden, zie figuur 2.14 is gunstiger: het verschil tussen 1-laags TRIWAQ en 2-laags TRIWAQ is voldoende klein.

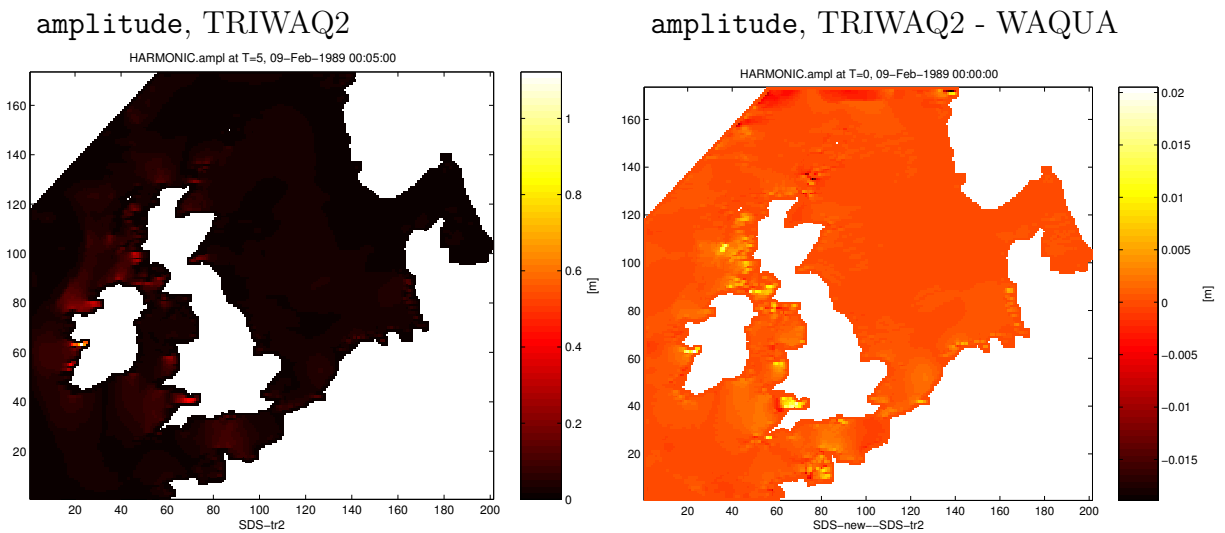
Ook hier kan geconcludeerd worden dat de aanpassingen verder geen ongewenste gevolgen hebben. Het is aan te bevelen dat de `CALCMAXVALUES`-optie in meerdere bestaande testen



Figuur 2.4: *Harmonische analyse: fase: 2-laags TRIWAQ en het verschil met WAQUA*

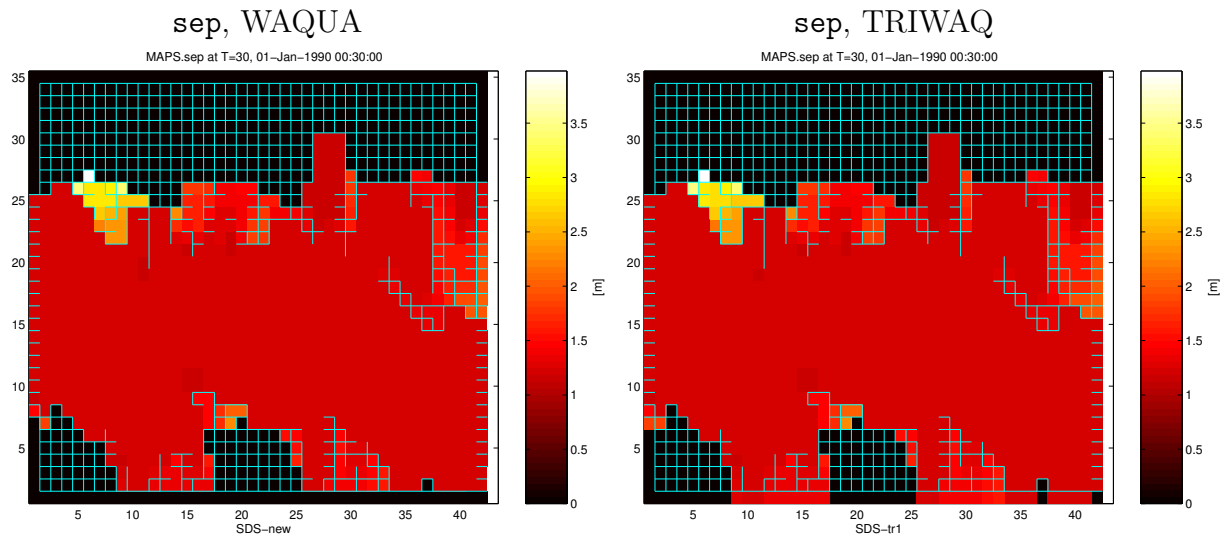


Figuur 2.5: *Harmonische analyse: amplitude voor nulrequentie: 2-laags TRIWAQ en het verschil met WAQUA*

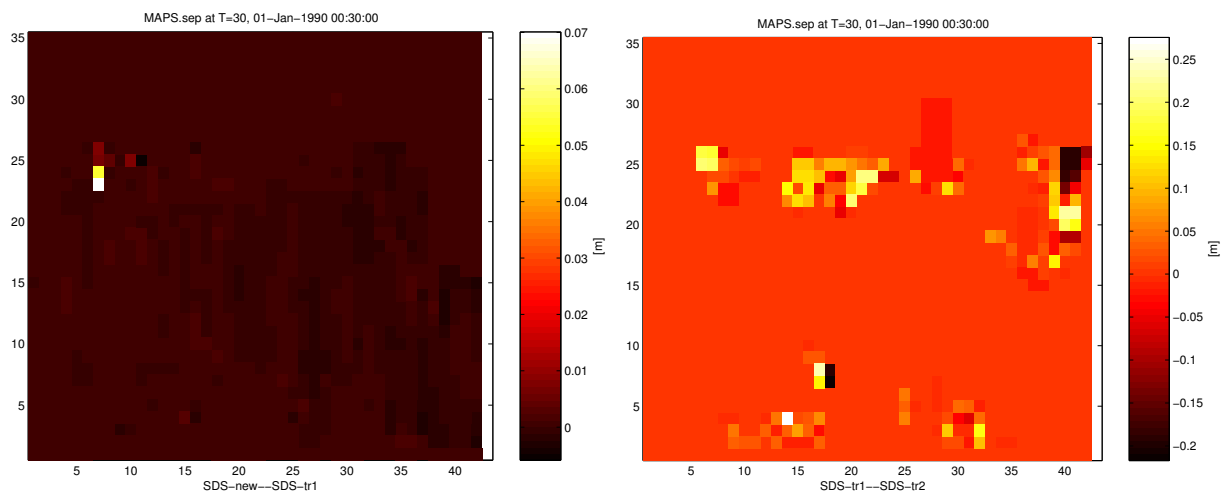


Figuur 2.6: *Harmonische analyse: amplitude: 2-laags TRIWAQ en het verschil met WAQUA*

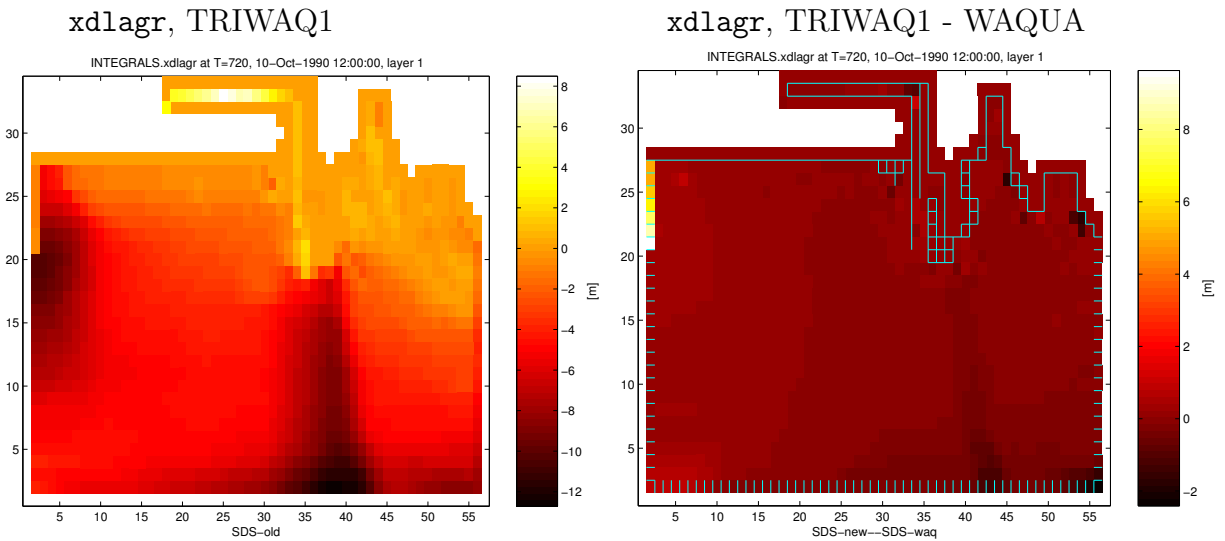
wordt toegevoegd, opdat ook deze functionaliteit voortaan bij het testen wordt meegenomen.



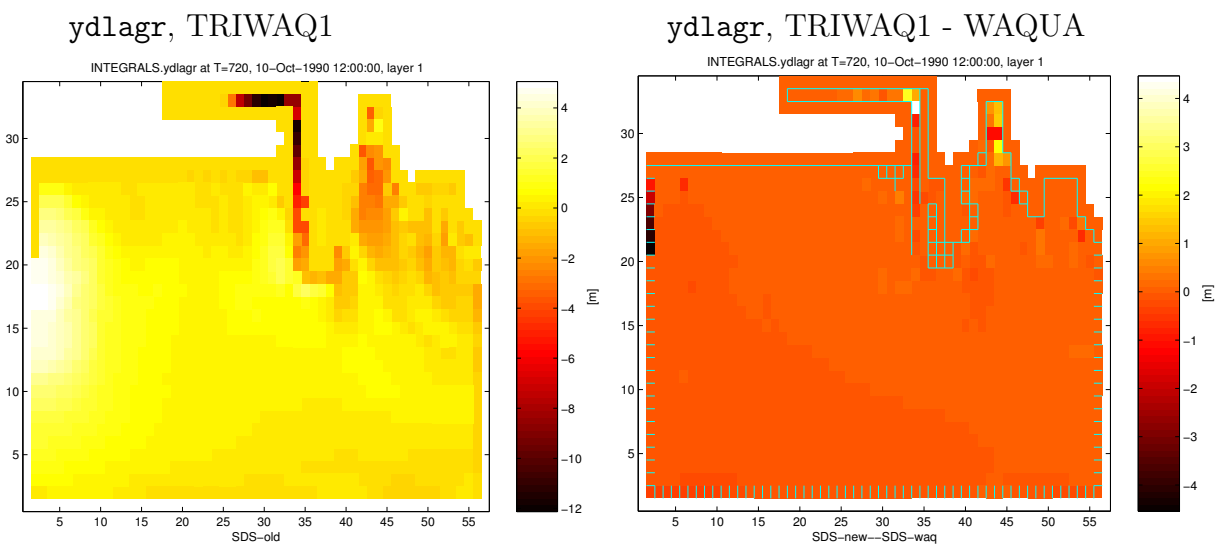
Figuur 2.7: *Het Lek2 model met QH-opening: waterstand in WAQUA (links) en 1-laags TRIWAQ (rechts)*



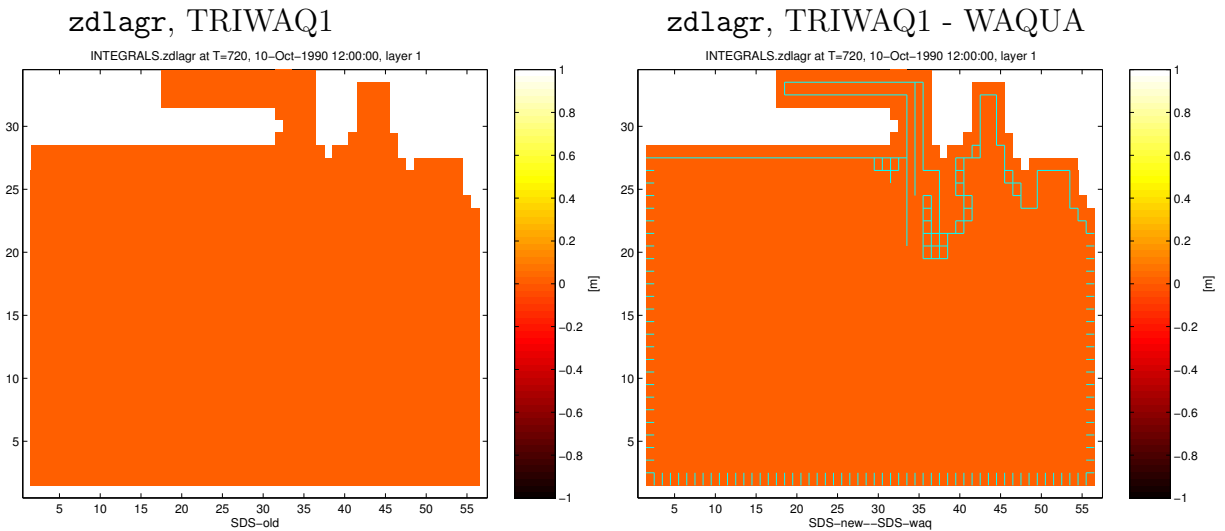
Figuur 2.8: *Het Lek2 model met QH-opening. Links: verschil in waterstand tussen WAQUA en 1-laags TRIWAQ. Rechts: verschil in waterstand tussen 1-laags TRIWAQ en 2-laags TRIWAQ*



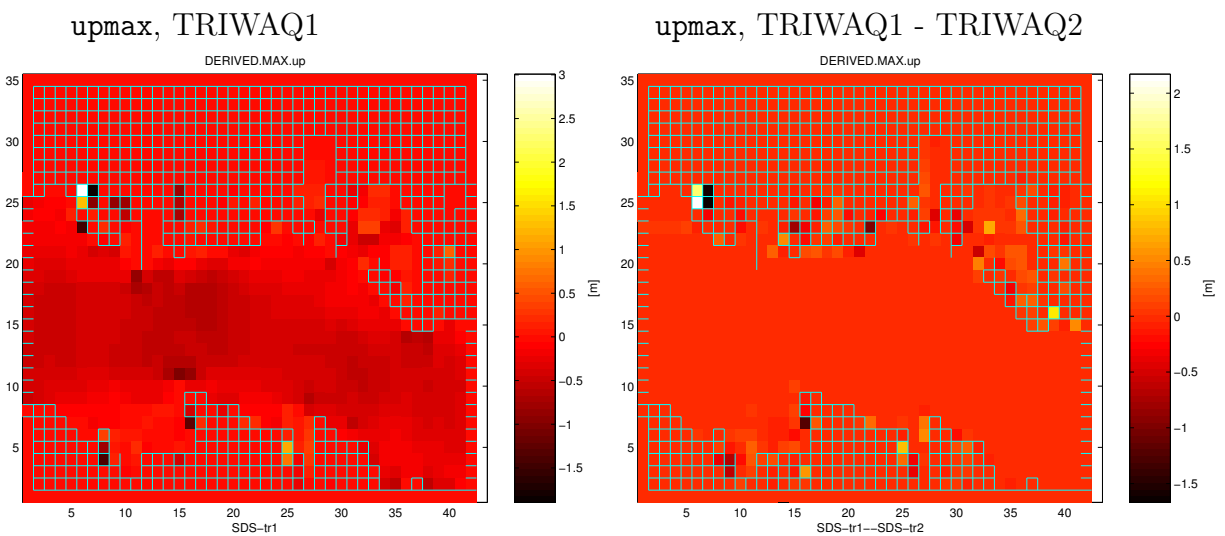
Figuur 2.9: Lagrangiaanse tijdsintegralen: verplaatsing in x -richting. Links: TRIWAQ 1 laag; rechts: het verschil met WAQUA.



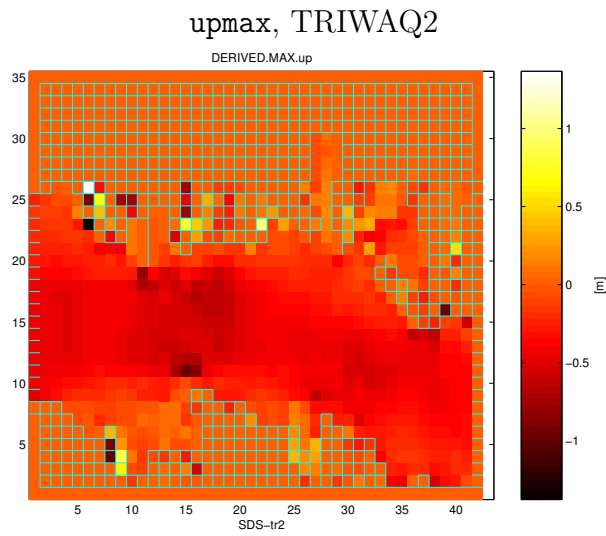
Figuur 2.10: Lagrangiaanse tijdsintegralen: verplaatsing in y -richting. Links: TRIWAQ 1 laag; rechts: het verschil met WAQUA.



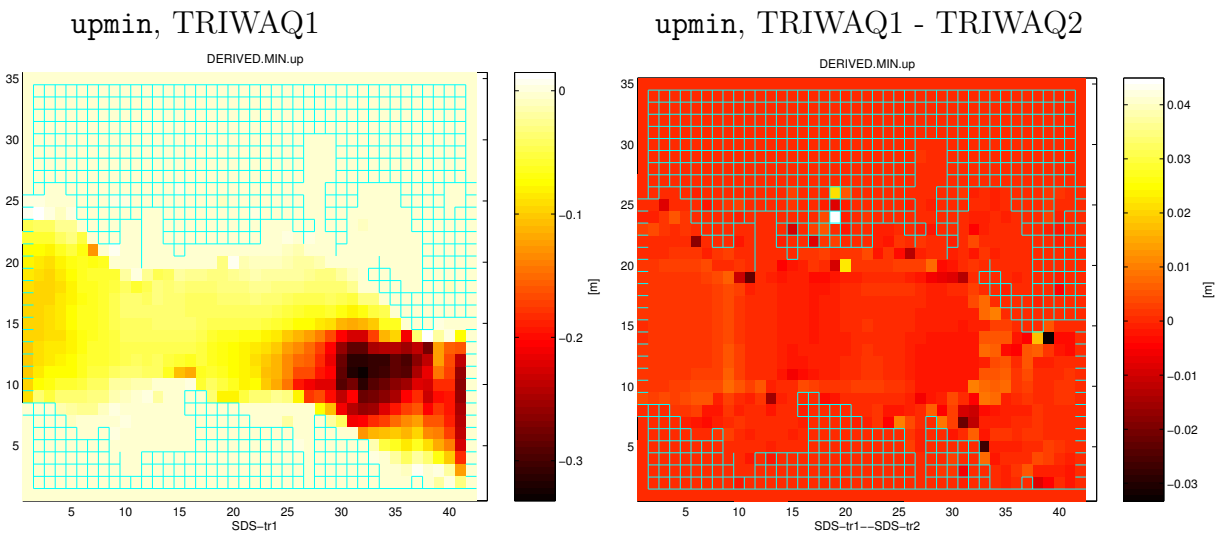
Figuur 2.11: Lagrangiaanse tijdsintegralen: verplaatsing in z -richting. Links: TRIWAQ 1 laag; rechts: het verschil met WAQUA.



Figuur 2.12: Maximale waarden: Maximum u -snelheden voor 1-laags TRIWAQ (links) en het verschil met 2-laags TRIWAQ (rechts).



Figuur 2.13: Maximale waarden: Maximum u -snelheden voor 2-laags TRIWAQ



Figuur 2.14: Maximale waarden: Minimum u -snelheden voor 1-laags TRIWAQ (links) en het verschil met 2-laags TRIWAQ (rechts).

Hoofdstuk 3

Mergen van eenvoudige rekenroutines in WAQUA en TRIWAQ

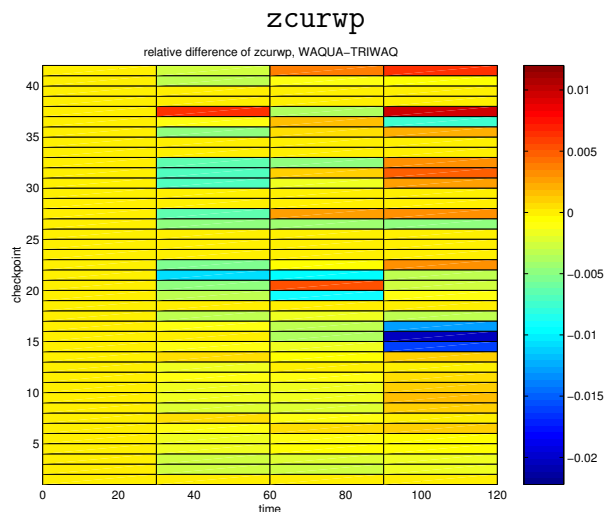
Er is een groot aantal routines die niet tot de echte rekenkern behoren en die in aparte varianten voor WAQUA en TRIWAQ bestaan. Deze routines kunnen gemakkelijk worden samengevoegd

3.1 Uitwerking van activiteit 1 - berekenen time-histories FLOW

Het gaat om het samenvoegen van routines `wagcof`, `trscof` en `trpcof` (berekenen time-histories FLOW). Deze kunnen worden samengevoegd tot een enkele routine `trgcof` in `waqgen`. Dit leidt tot een minimaal verschil op het starttijdstip, omdat `trpcof` rotatie net iets anders berekent dan `trscof`.

Bij het mergen zijn de volgende aspecten van belang:

- `wagcof` wordt aangeroepen vanuit `wapf10` (`waqpre`) en `waschf` (`waqpro`).
- `trpcof` wordt aangeroepen vanuit `wapf10` (`waqpre`) en `trscof` vanuit `waschf` (`waqpro`).
- In `wapf10` moeten de benodigde arrays beschikbaar worden geconverteerd naar fullbox-formaat.
- de argumentenlijst van de drie routines stemt uiteraard niet overeen. `trscof` wordt als generieke routine in `waqgen` geplaatst; de aanroepen vanuit de koproutines moeten daar op worden aangepast.
- In `wagcof` ontbraken `zks`, `zku`, `zkv`, `w`, `discht`, `disct`, `gsqs`.
- De eerste vier bestaan sinds kort wel in alle `waqpro`-routines, maar nog niet in `waqpre`. Ze worden ook hier beschikbaar gemaakt, vanuit `wapf07`.



Figuur 3.1: *Mergen: trgcof: relatieve afwijking van zcurwp, WAQUA-TRIWAQ*

- `discht` en `disct` worden in `wapf10` ook beschikbaar gemaakt voor WAQUA.
- `gsqs` is in `waqpre` nooit gedefinieerd. In `trgcof` werd dit opgelost door ter plaatse `gsqs` op een snelle maar minder nauwkeurige manier uit te rekenen. Nu wordt vanuit `wapf10` een vlag `lwqpre` meegegeven die deze actie in dat geval ook uitvoert.
- In bronloze modellen `nsrc = 0` worden verscheidene nul-dimensionale arrays als argument meegegeven. Dit laten we zo.

Om te testen is het `kustklein`-model genomen. Dit model geeft, op overlaten na, alle vormen van time-histories van checkpoints en heeft bovendien enkele bronnen.

De volgende tests zijn uitgevoerd:

- TRIWAQ 4 laags , oude en nieuwe code. Identieke resultaten.
- TRIWAQ 1 laags , oude en nieuwe code. Identieke resultaten.
- WAQUA, oude en nieuwe code. De variabelen `zcurwp`, `zcur`, `ctru`, `ctrv`, `fltru` en `fltrv` werden in de oude code niet uitgerekend in WAQUA. Wanneer we deze variabelen, berekend met de nieuwe code in WAQUA, vergelijken met de waarden in TRIWAQ, zien we dat de verschillen voldoende klein zijn. Dit is bijvoorbeeld te zien in figuur 3.1.

Vervolgens is nog een restart-test uitgevoerd. Strict genomen moet in `wasmaf` ook voor WAQUA het array `layer_interfaces` worden weggeschreven, opdat deze in `wapf07` weer gelezen kan worden. Nu we dit niet doen, geeft dat voor de time histories een nul voor het eerste tijdstip na de restart.

3.2 Uitwerking van activiteit 2 - berekenen time-histories TRANSPORT

Dit houdt het samenvoegen van routines `wagcot`, `trscot` en `trpcot`, (berekenen time-histories TRANSPORT) in. Deze routines worden samengevoegd tot een enkele routine `trgcot` in WAQGEN, analoog aan de routines voor FLOW hierboven.

Een aantal acties (zoals het beschikbaar maken van `zks` in WAQUA in `waqpre`) vond reeds plaats in de vorige activiteit. Kanttekeningen bij het mergen van deze routines zijn:

- Checks voor natte punten vindt soms plaats met `khu > 0` en soms met `kfu = 1`.
- Sommige arrays (zoals `difcw`) waren nog niet correct in WAQUA gedefinieerd.

Opnieuw is het geheel getest met het `kustklein` model. Interessante variabelen zijn nu `gro`, `adtru` en `adtrv`. Voor de onderverdeling tussen advection en diffusie hebben we `atru`, `atrv`, `dtru` en `dtrv`. Uitgevoerde testen zijn:

- TRIWAQ 4 laags , oude en nieuwe code. Identieke resultaten.
- TRIWAQ 1 laags , oude en nieuwe code. Identieke resultaten.
- WAQUA, oude en nieuwe code. De variabelen `atru`, `atrv`, `dtru`, `dtrv` vertonen wel enkele verschillen. Dit komt hoogstwaarschijnlijk door cijferverlies (een som wordt voortdurend met kleine waarden opgehoogd). Kijken we naar de afwijking van het totale deeltjestransport van alle u - en v - doorsneden, dan zien we dat het maximum daarvan minder dan 10^{-4} bedraagt. Voor `zkpol` geldt dat deze niet gedefinieerd was in WAQUA en daar in de oude situatie slechts nullen geeft. Vergelijken we `zkpol` in WAQUA en 1-laags TRIWAQ, dan zijn de verschillen in 29 van de 32 punten in de orde van enkele procenten, op drie punten aan de rand na, waar de WAQUA-waarden identiek nul zijn.

3.3 Uitwerking van activiteit 3 - printen van berekende FLOW data (maps)

Dit behelst het samenvoegen van routines `waspcf` en `trspcf`, printen van computed data (maps) voor FLOW naar de report-file. Hierbij moeten kleine verschillen in de report-file tussen WAQUA en TRIWAQ met 1 laag worden geëlimineerd. Bijvoorbeeld drukt TRIWAQ bij gebruik van 1 laag nog steeds het laagnummer af en WAQUA niet. Dit veroorzaakt verschillen in de precieze layout van de report-file ten opzichte van de huidige versie.

Bij het samenvoegen wordt weer uitgegaan van `trspcf`. Routine `waspcr` verdwijnt. Kanttekeningen hierbij zijn:

Verder lijken de report files van 1-laags TRIWAQ en WAQUA nu goed op elkaar.

3.4 Uitwerking van activiteit 4 - printen van berekende TRANSPORT data (maps)

Samenvoegen van routines `waspc` en `trspc`, printen van computed data (maps) voor TRANSPORT naar de report-file. Deze routines kunnen eenvoudig worden gecombineerd. Het belangrijkste verschil is dat TRIWAQ verticale diffusie-coëfficiënten afdruckt en WAQUA niet. Deze print zal worden uitgezet in TRIWAQ-berekeningen met 1 laag.

Bij het samenvoegen wordt weer uitgegaan van `trspc`. Routine `waspc` verdwijnt. Een kanttekening hierbij is:

- Als `kmax= 1` dan wordt geen laagnummer afgedrukt. Daardoor lijken de report files van WAQUA en 1-laags TRIWAQ beter op elkaar.

De veranderingen in de report files zijn analoog als beschreven in de voorgaande sectie.

3.5 Uitwerking van activiteit 5 - printen van history data voor FLOW

Het gaat om het samenvoegen van routines `wasphf` en `trspfhf`, printen van history data voor FLOW naar de report-file. Een verschil tussen deze routines is de uitvoer die WAQUA voor barriers wegschrijft. Deze uitvoer willen we door een aparte routine `wasphb` laten schrijven. Verder drukt TRIWAQ ook grootheden per laag af, deze zullen bij gebruik van 1 laag worden uitgezet.

Dus: de twee routines worden samengevoegd tot een enkele `trspfhf`, met in de koproutine `wasphf` in het geval van (WAQUA en barriers aanwezig) een aanroep naar de nieuwe routine `wasphb` die het voorheen laatste gedeelte van `wasphf` bevat. In de toekomst kan deze routine (in aangepaste vorm) dan ook voor TRIWAQ-barriers worden gebruikt.

Kanttekeningen zijn hier:

- TRIWAQ schrijft ook `zcuru`, `zcurv`, `zcurw`, `zcur` en `zcurwp` weg. Deze variabelen bestaan in WAQUA. Ze kunnen dus gewoon worden afgedrukt.
- Bij afdrucken van de stroomsterkte wordt, als er slechts een laag is, het laagnummer niet afgedrukt.

De zes report files (oud/nieuw, 4-laags, 1-laags TRIWAQ en WAQUA) zijn weer vergeleken. Voor 1-laags TRIWAQ hebben we het verschil in het afdrucken van laagnummer en voor WAQUA de componenten van de stroomsterkte. Een tweede test met barriers (`barr_meas_wq`) ter verificatie van de nieuwe routine leverde identieke antwoorden voor de barrier variabelen.

3.6 Uitwerking van activiteit 6 - printen van history data voor TRANSPORT

Dit betreft het samenvoegen van routines `wasphf` en `trspht`, printen van history data voor TRANSPORT naar de report-file. Hiervoor geldt m.m. hetzelfde als hierboven voor `wasphf` en `trspht`.

Het betreft hier twee eenvoudige routines. De routine `wasphf` wordt weer verwijderd. Voor `kmax=1` drukt `trspht` de concentraties af volgens het WAQUA-formaat, dat wil zeggen compacter, zonder vermelding van het laagnummer en van `zkp01`.

Report files verschillen hierdoor uiteraard. De files voor 1-laags TRIWAQ zijn wat betreft het transportgedeelte nu gelijk aan die van WAQUA.

3.7 Uitwerking van activiteit 7 - Euleriaanse tijdsintegralen

Het gaat om het samenvoegen van routines `wasei2` en `wasei3` voor het berekenen van Euleriaanse tijdsintegralen in respectievelijk WAQUA en TRIWAQ. Het belangrijkste verschil hiertussen is dat WAQUA arrays `sepnw` en `depint` gebruikt en wegschrijft naar de SDS-file, terwijl TRIWAQ array `integral_flow_zk` gebruikt en schrijft.

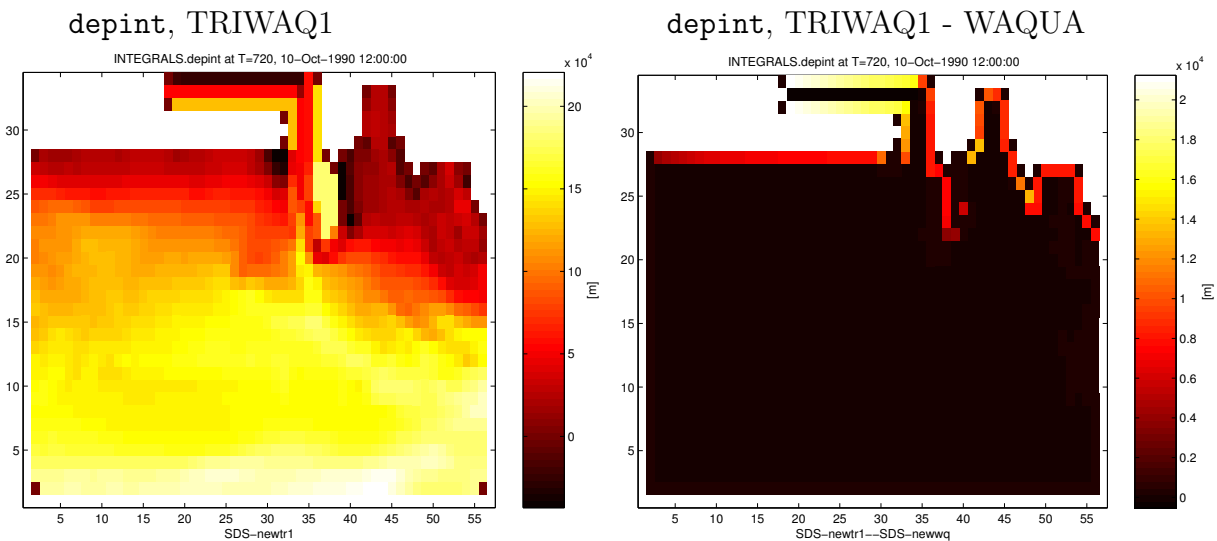
Het idee is `wasei3` uit te breiden zodat `sepnw` en `depint` in alle gevallen naast `integral_flow_zk` wordt aangemaakt en op de SDS-file gezet. Daarna kan deze routine ook in WAQUA worden gebruikt.

Kanttekeningen zijn:

- Het array `depint` heeft in TRIWAQ een extra dimensie ter grootte van `kmax`.
- In `wapf11` worden de arrays voor zover ze niet bestonden gemaakt.
- In `waswti` worden nu in alle gevallen dezelfde arrays weggeschreven.
- De routine `trsfitt` neemt de berekening van `depint` in `wasfitt` over.
- De eigen postprocessing in Matlab (`ReadWaq`) moest ook weer aangepast worden. Wellicht moet dit ook bij de andere postprocessing tools.
- `wasfitt` en `wasei2` verdwijnen.

Na de aanpassingen zijn de volgende tests gedaan, met het `intlag` model:

- TRIWAQ 4 laags, oude en nieuwe code. De nieuwe code levert de extra arrays `depint`, `sepnw`, `zk`.
- TRIWAQ 1 laags, oude en nieuwe code. Ook hier hebben we de drie extra arrays.



Figuur 3.2: Euleriaanse tijdsintegralen: array `depint`. Links: TRIWAQ 1 laag; rechts: het verschil met WAQUA.

- WAQUA, oude en nieuwe code. Dit levert in de nieuwe code de extra arrays `zk`, `wphint`, `wint` en `zkint`.

Het is dan nog interessant de nieuwe arrays in WAQUA en 1-laags TRIWAQ te vergelijken. De verschillen zijn niet groter dan wat op grond van de twee verschillende rekenmethodes verwacht kan worden. Als voorbeeld is in figuur 3.2 het array `depint` afgebeeld voor 1-laags TRIWAQ met daarnaast het verschil met WAQUA. De al eerder genoemde verschillende behandeling van de rand vormt het grootste deel van het verschil.

Overigens is `depint` in WAQUA met de oude en nieuwe code identiek, waaruit geconcludeerd kan worden dat `trsfitt` hetzelfde doet als `wasfitt`, ondanks de iets verschillende structuur in beide routines.

Hoofdstuk 4

Conclusies en aanbevelingen