

ASPI - Resultaten

Antarctische subglaciale processen en interacties: rol van transitiezones in ijskapstabiliteit

DUUR VAN HET PROJECT
15/12/2005 - 30/06/2010

BUDGET
776.300 €

SLEUTELWOORDEN

Antarctica, ijskapmodellering, subglaciaal milieu, ijskernanalyse, ijsvervorming

CONTEXT

De objectieven van ASPI komen overeen met deze van het derde ondersteuningsplan voor duurzame ontwikkeling (Globale veranderingen, biodiversiteit en ecosystemen) and het CliC project (Climate and Cryosphere) van de WCRP (World Climate Research Programme). ASPI maakt deel uit van internationale programma's, zoals het European Project on Ice Coring in Antarctica (EPICA), SCAR-SALE (Subglacial Antarctic Lake Environments, een kernproject van de Scientific Committee on Antarctic Research), en verschillende ISMIP projecten (Ice Sheet Model Intercomparison Project), gesponsord door de Numerical Experimentation Group van WCRP/SCAR CliC. De onderzoekers binnen ASPI waren nauw betrokken bij het opstellen van het vierde IPCC Assessment Rapport (AR4). Tot slot zijn de resultaten van het paleoklimaatwerk een directe bijdrage tot SCAR-ACE (Antarctic Climate Evolution).

Naast hun rol in de ijsdynamiek en ijskapstabiliteit, zetten processen en interacties binnen basale overgangszones ook een rem op de interpretatie van het paleoklimatologisch signaal zoals die in diepe ijskernen. Basale ijsvervorming verstoort dit signaal en het begrijpen van de processen aan de basis van ijskappen maakt een reconstructie van het klimaatsignaal mogelijk. De subglaciale omgeving opent nieuwe grenzen in het Antarctisch onderzoek, omdat deze dynamische en extreme interface nog moet worden onderzocht in termen van glaciologische, geologische, geochemische en biologische onderzoeksinspanningen.

BELANGRIJKSTE CONCLUSIES

We analyseerden de reactie van een mariene ijskap op verschillende versteringen rondom de scharnierlijn met behulp van een numeriek ijskapmodel dat rekening houdt met longitudinale spanningen en scharnierlijn migratie. Het model is gebaseerd op een bestaand vloeilijnmodel, maar uitgebreid met een subgrid bepaling van de positie van de scharnierlijn als een functie van de grootte van de overgangszone tussen de ijskap en het ijsplaat. Een brede overgangszone is typisch voor een ijsstroom, een kleine overgangszone typisch voor scharnierlijnen in Oost Antarctica, waar de ijskap vrij plotseling overgaat in een ijsplaat. Modelresultaten tonen aan dat de longitudinale spanningskoppeling rondom de scharnierlijn een doorslaggevende rol speelt. De migratie van de scharnierlijn is een functie van de lengteschaal waarover de basale condities overgaan van een bevroren bed naar een gematigd bed, waar subglaciaal water kan aanwezig zijn dat een lubrificerende rol speelt. Verstoringen op de scharnierlijn kunnen leiden tot een sterke verdunning van de ijskap. Mariene ijskappen met grote overgangszones - zoals in ijsstromen - lijken bijzonder gevoelig voor zulke verstoringen, in vergelijking tot ijskappen met kleine overgangszones, zoals een abrupte overgang tussen ijskap en ijsplaat.

OBJECTIEVEN

Het doel van ASPI (Antarctische Subglaciale Processen en Interacties) is (i) om de interacties tussen de ijskap en het subglaciale milieu en de processen die de Antarctische ijskap controleren, beter te begrijpen, en (ii) om de stabiliteit van de ijskap met een veranderend klimaat en de impact van klimaatveranderingen op de ijskap te kwantificeren.

Een belangrijke factor in zo een kwantificering en impactevaluatie is het bestaan van overgangszones binnen de ijskap. Zulke overgangszones zijn voorbeelden van specifieke grenslagen (boundary layers) die men overall in een glaciologische context terugvindt. Algemeen genomen zijn dit delen van de ijskap die grenzen aan de basale overgangszone en waar de ijsbeweging sterk verschilt in vergelijking tot de centrale delen van de ijskap. Typische voorbeelden van zulke overgangszones zijn scharnierlijnen (grounding lines), t.t.z. de overgang tussen de ijskap en de drijvende ijsplaat, tussen de ijskap en een subglaciaal meer, tussen de ijsplaat en een pinpunt, alsook de overgang tussen koud en gematigd ijs. Deze overgangszones zijn een van de minst begrepen zones in ijskappen, maar zij bepalen voor een groot deel de processen en de dynamiek van laterale uitbreiding en terugtrekking van de ijskappen en de stabiliteit van mariene ijskappen.



ASPI - Resultaten

Antarctische subglaciale processen en interacties: rol van transitiezones in ijskapstabiliteit

Een correcte simulatie van de migratie van de scharnierlijn vereist ook een extra randvoorwaarde wat betreft ijsflux aan de scharnierlijn, zoals recentelijk uiteengezet in theoretisch werk van Christian Schoof. Deze randvoorwaarde werd ingebed in 1D-en 2D-axisymmetrische ijsvloeiomodellen die een vast rooster gebruiken. Omkeerbaarheid van migratie van scharnierlijnen is een belangrijk theoretisch concept dat werd gebruikt om deze modellen te testen. Het bovenstaande subgrid algoritme hebben we grondig getest om theoretische eisen, zoals de omkeerbaarheid van de migratie van de scharnierlijn (wanneer deze bijvoorbeeld wordt geforceerd door variaties in zeeniveau) en waarvoor analytische oplossingen bestaan, met het numerieke model te vergelijken. Ons modelschema bleek zeer goed te werken voor horizontale gridpuntafstanden tussen 2 en 40 km. We experimenteerden ook met heuristische voorstellingen voor basaal glijden en 'buttressing'. Deze verfijningen werden geïmplementeerd in een 3D gekoppeld ijskap/ijsplaatmodel van de hele Antarctische ijskap.

Vervormingsexperimenten op ijsstalen werden uitgevoerd om beter te begrijpen hoe marien aangevroren ijs nabij de scharnierlijn (en in andere zwakke zones van ijsplaten) de vloeikenmerken van de ijskap in de overgangszone beïnvloedt. Hiervoor werd een nieuw pneumatisch gedreven vervormingstoestel gebouwd, en vervolgens geïnstalleerd en getest aan de ULB. Voorbereidende experimenten toonden de belangrijkheid van zulke mariene ijsinclusies op de ijsbeweging duidelijk aan: marien ijs is harder om te vervormen dan meteorisch ijs in een typisch ijsplaat spanningsveld (verticale uni-axiale compressie met laterale en longitudinale extensie), en kan hierdoor een stabiliserend effect hebben op het hele ijskapsysteem.

Het belang van dergelijk resultaat is in overeenstemming met resultaten van inverse modellering van de overgangszone. De laatste techniek bepaalt de eigenschappen van de ijsviscositeit en/of de basale condities in de overgangszone, gebaseerd op de waargenomen ijskapconfiguratie (ijsdikte, oppervlakte reliëf) en geobserveerde oppervlakte snelheden. Met een inverse modellering is het mogelijk de grootte van de overgangszone te bepalen, hetgeen een belangrijke factor is bij voorspellingen. Bijvoorbeeld, de toepassing op Pine Island Glacier (WAIS) laat ons toe te bepalen waar de ijsstroom start en waar spanningskoppeling in het snelheidsveld belangrijk is.

De oceaan is niet enkel een belangrijke randvoorwaarde. Basale thermische randvoorwaarden bepalen voor een groot deel het gedrag van de Antarctische ijskap. Wanneer het ijs het druksmelpunt bereikt, wordt smeltwater gegenereerd dat kan leiden tot een versnelde ijsbeweging. Ook de aanwezigheid van subglaciale meren wordt bepaald door de basale thermische omstandigheden. Met behulp van een 3D thermomechanisch gekoppeld ijskapmodel, werd de invloed van de ruimtelijke variabiliteit van de geothermische warmteflux op het basale temperatuursregime van de Antarctische ijskap onderzocht.

De resultaten werden vergeleken met waarnemingen van de basale temperatuur (bijv. in zones waar een diepe ijskern is geboord en de temperatuur in de boorkern is gemeten), alsook met de ruimtelijke verdeling van subglaciale meren. Op deze manier was het mogelijk te bepalen welke geothermische flux dataset beter geschikt is voor toekomstige modelexperimenten en welke basale condities waarschijnlijk zijn onder de Antarctische ijskap. Hetzelfde 3D-model werd verder gebruikt om de huidige ouderdom van het ijs op Antarctica te berekenen.

Dergelijke kwalitatieve simulaties zijn zeer nuttig om potentiële diepe boorlocaties te begeleiden in de zoektocht naar ijs ouder dan 1 miljoen jaar. Een andere modelstudie, die het grootschalige Antarctische ijskapmodel combineert met een fijschalig hogere-orde-model toegepast op het oostelijk deel van Dronning Maud Land, werd uitgevoerd om de datering van de EDML ijskern (Kohnen Station) bij te staan. Dit werk werd uitgevoerd in het kader van het EPICA project en brengt op een unieke manier de expertise van de VUB modelleringgroep en de ULB Glaciologie groep samen.

Basale thermische omstandigheden controleren niet enkel de beweging van de centrale delen van de ijskap, ze beïnvloeden tevens de aard van de interactie tussen het diepe ijs en de interface. Deze invloed kan serieus de klimaatreconstructies van het diepe – en dus oudere – ijs beïnvloeden. In het kader van het ASPI onderzoek is specifiek gekeken naar plaatsen waar smelten voorkomt op deze interface, zonder dat zich hier ook herbevrozing voordoet (EPICA Dome C). We hebben aangetoond dat in de meeste gevallen dit paleoklimaat signaal intact bleef, maar dat een lokale herwerking van de chemische onzuiverheden zich voordoet door rekristallisatie bij relatief hoge temperatuur en veranderingen in het spanningsveld nabij de bedrock. Niettemin kan de tijdschaal gevoelig worden beïnvloed tot ver boven het basale ijs (waar duidelijke inclusies waarneembaar zijn). Hierdoor is onze capaciteit om ijs ouder dan één miljoen jaar te vinden sterk gelimiteerd. Vroeger werk van het ULB-team heeft aangetoond dat onder grote ijskappen (GRIP, Dye-3), een sterke mixing kan gebeuren tussen oud ijs (voordat de huidige ijskap bestond) en de huidige ijskap, temeer wanneer de interface een temperatuur heeft die lager dan het druksmelpunt is.

ASPI heeft een studie gemaakt van de basale ijslagen van de ijskap op Berkner Island. Resultaten hebben aangetoond dat het ijs aan de basis duidelijk het paleoklimaat signaal heeft verloren, zelfs boven de ijslaag die duidelijk rijk is aan debris (biogenische impact). De overgang is geleidelijk en de analyse van de gassen toont aan dat mechanische mixing niet voorkomt. Dit suggereert een jongere ijsouderdom en dat de ijskap op Berkner Island geen significante migratie heeft gekend.



SSD
WETENSCHAP VOOR EEN DUURZAME ONTWIKKELING

ASPI - Resultaten

Antarctische subglaciale processen en interacties: rol van transitiezones in ijskapstabiliteit

Subglaciale meren zijn een voorbeeld van een ander type van overgangszone dat recentelijk meer aandacht kreeg. Recente satellietwaarnemingen toonden immers aan dat subglaciale meren kunnen draineren en hierdoor grote hoeveelheden subglaciaal water aan het subglaciaal hydrologisch systeem kunnen toevoegen. Dit kan potentieel leiden tot een destabilisering van de ijskap door plotse uitbarsting van subglaciale meren, waarvoor bewijsmateriaal langsheen de kust van de Oostantartische ijskap is gevonden. In het ASPI project hebben we het effect van een subglaciale drainage op de stabiliteit van de ijskap onderzocht, alsook hoe gevoelig het systeem is met betrekking tot plotse uitbarstingen van water. Voorlopige experimenten hebben aangetoond dat kleine variaties in oppervlaktetopografie gemakkelijk kunnen leiden tot de gedeeltelijke drainage van zo een subglaciaal meer.

Overgangszones in de Antarctische ijskap, zoals scharnierlijnen, subglaciale meren of de subglaciale interface spelen een sleutelrol in het dynamisch gedrag van de Antarctische ijskap en de stabiliteit ervan. Het ASPI project heeft geleid tot een beter begrijpen van de subglaciale processen en de interacties welke zich voordoen aan deze interfaces. Ze lijken nog belangrijker te zijn dan initieel was gedacht.

BIJDRAGE AAN EEN BELEID GERICHT OP DUURZAME ONTWIKKELING

De belangrijkste bijdrage van het ASPI project tot een duurzame ontwikkeling is dat het project een cruciale rol heeft gespeeld in het houden van de Belgische onderzoekscapaciteit op een operationeel niveau, zowel op nationaal als op internationaal vlak. De ASPI teams hebben een unieke expertise op het vlak van ijsmodellering, zowel in het modelleren van de Antarctische ijskap (state-of-the-art 3D en vloeilijnmodellen), als met betrekking tot het onderzoek naar de kenmerken van basaal ijs en de gevolgen voor de interpretatie van het paleoklimaat. Resultaten en ontwikkelingen van dit onderzoek vonden hun weg naar internationale beleidsgeoriënteerde lichamen (IPCC, SCAR, CliC, IPICS) en hebben de weg vrijgemaakt voor een verdere participatie van de VUB en ULB modelleergroepen in een EU FP7 onderzoeksproject 'ice2sea' (estimating the future contribution of continental ice to sea-level rise).

CONTACT INFORMATIE

Website van het project
<http://homepages.ulb.ac.be/~fpattyn/aspi>

Coördinator

Frank Pattyn

Université Libre de Bruxelles (ULB)
Laboratoire de Glaciologie
Département des Sciences de la Terre et de l'Environnement (DSTE), CP 160/03
Avenue F.D. Roosevelt 50
B-1050 Bruxelles
Tel: +32 (0)2 650.22.27
Fax: +32 (0)2 650.22.26
fpattyn@ulb.ac.be
<http://dev.ulb.ac.be/glaciol/index.htm>

Partners

Jean-Louis Tison

Université Libre de Bruxelles (ULB)
Laboratoire de Glaciologie
Département des Sciences de la Terre et de l'Environnement (DSTE), CP 160/03
Avenue F.D. Roosevelt 50
B-1050 Bruxelles
Tel: +32 (0)2 650.22.27
Fax: +32 (0)2 650.22.26
jtison@ulb.ac.be
<http://dev.ulb.ac.be/glaciol/index.htm>

Philippe Huybrechts

Vrije Universiteit Brussel (VUB)
Vakgroep Geografie
Pleinlaan 2
B-1050 Brussel
Tel: +32 (0)2 629.33.84
Fax: +32 (0)2 629.33.78
phuybrec@vub.ac.be
<http://www.vub.ac.be/DGGF>

