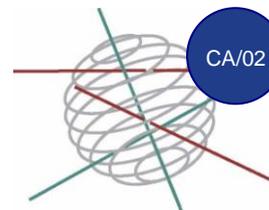


ASPI - Résultats



Processus et interactions sous-glaciaires en Antarctique: rôle des zones de transition dans la stabilité de la calotte glaciaire

DUREE DU PROJET
15/12/2005 - 30/06/2010

BUDGET
776.300 €

MOTS CLES

Antarctique, modélisation cryosphérique, environnement sous-glaciaire, analyse des carottes de glace, déformation de la glace

CONTEXTE

Les objectifs d'ASPI rencontrent ceux du troisième projet de soutien scientifique à propos du développement durable (*Global change, biodiversity and ecosystems*) et du projet CliC (*Climate and Cryosphere*) du WCRP (*World Climate Research Programme*). ASPI fait partie d'un groupe de programmes de recherche internationaux qui comprend, entre autres, EPICA (*European Project on Ice Coring in Antarctica*), SCAR-SALE (*Subglacial Antarctic Lake Environments*, un projet phare du *Scientific Committee on Antarctic Research*), et ISMIP-HOM (*Ice Sheet Model Intercomparison Project for Higher-order ice-sheet Models*, un projet du *Numerical Experimentation Group* du *WCRP/SCAR CliC*). Finalement, les résultats provenant du travail sur les données paléo contribuent directement à SCAR-ACE (*Antarctic Climate Evolution*).

La déformation basale est responsable de la perturbation du signal et la compréhension des processus qui jouent un rôle à la base des calottes permet de récupérer ce signal. L'environnement sous-glaciaire ouvre de nouvelles frontières dans les explorations en Antarctique. En effet, des investigations glaciologiques, géologiques, géochimiques et biologiques plus poussées sont nécessaires pour mieux comprendre cet environnement dynamique et extrême.

CONCLUSIONS

Nous avons analysé la réponse d'une calotte glaciaire marine suite à diverses perturbations réalisées près de la ligne d'ancrage à l'aide d'un modèle cryosphérique. Ce modèle prend en compte le couplage des contraintes longitudinales ainsi que la migration de la ligne d'ancrage. Il est basé sur un modèle *flowline* existant, mais auquel on a ajouté une nouvelle détermination de sous-grille de la position et de la migration de la ligne d'ancrage en fonction de la taille de la zone de transition entre la calotte et la plateforme de glace. Par exemple, un *ice stream* possède une large zone de transition, tandis que beaucoup de régions en Antarctique de l'Est ont une petite zone de transition vu le changement rapide de la calotte en plateforme de glace. Les résultats des modèles montrent que la transmission des contraintes ou le couplage longitudinal à la ligne d'ancrage jouent un rôle décisif. La migration de la ligne d'ancrage est une fonction de l'échelle de longueur à laquelle les conditions basales passent de l'état gelé au lit à flottant. Cette échelle est appelée la "zone de transition". Les perturbations à la ligne d'ancrage, telles que la réduction de l'effet arc-boutant de la plateforme de glace, ont pour effet d'amincir la calotte. Les calottes marines possédant de larges zones de transition - telles que les *ice streams* - paraissent très sensibles à de telles perturbations, en comparaison avec les calottes qui ont de petites zones de transition, telles que les jonctions calotte/plateforme de glace abruptes.

OBJECTIFS

Les buts d'ASPI (*Antarctic Subglacial Processes and Interactions*) sont (i) de comprendre les interactions entre la calotte de glace et l'environnement sous-glaciaire ainsi que les processus qui contrôlent la calotte antarctique et (ii) de quantifier la stabilité de la calotte dans un climat en changement et l'impact des variations climatiques sur la calotte côtière.

Un facteur clé dans cette quantification et cette étude d'impact réside dans l'existence de zones de transition au sein des calottes. Celles-ci sont de bons exemples de couches limites largement rencontrées en glaciologie. Typiquement, il s'agit des interfaces entre calotte et plateforme de glace (lignes d'ancrage), entre calotte et lac sous-glaciaire et entre plateforme de glace et îlots d'ancrage. Les lignes d'ancrage sont probablement parmi les éléments les moins connus des calottes de glace, même s'ils sont déterminants dans la compréhension des processus et de la dynamique des calottes ainsi que de la stabilité des calottes marines. Mis à part leur rôle dans la dynamique glaciaire et la stabilité de la calotte, les processus et les interactions au sein des zones de transition basales entravent l'interprétation du signal paléoclimatique tel qu'enregistré dans les carottes de glace profondes.



ASPI - Résultats

Processus et interactions sous-glaciaires en Antarctique: rôle des zones de transition dans la stabilité de la calotte glaciaire

Une simulation correcte de la migration de la ligne d'encrage demande aussi d'avoir une condition limite supplémentaire sur le flux de la glace à travers cette ligne d'encrage, comme Christian Schoof l'a récemment démontré dans un travail théorique. Sa condition limite fut par la suite utilisée de manière exclusive dans de nombreuses expériences numériques de modèles schématiques d'écoulement de la glace en 1D et 2D le long de la ligne d'écoulement ; modèles qui employaient une grille fixe. Le nouvel algorithme que nous avons conçu a été testé de manière approfondie pour étudier les besoins théoriques tels que la réversibilité de la migration de la ligne d'encrage quand elle est soumise à l'accumulation, aux variations du niveau marin et à la position de la ligne d'encrage, comparée aux expressions analytiques. Notre procédé a montré qu'il se comporte bien dans le domaine de temps et pour une distance de grille horizontale fixe comprise entre 2 et 40 Km. D'autres expériences numériques ont testé les représentations heuristiques pour l'ice-sheet buttressing et pour le glissement basal. Ces perfectionnements furent introduits dans un modèle 3D qui combine la calotte et la plateforme de glace flottante pour toute la calotte antarctique

Les expériences de déformation sont supposées nous éclaircir à propos de l'influence de la formation de la glace marine au niveau de la ligne d'ancrage sur les propriétés d'écoulement de la calotte dans la zone de transition. Par conséquent, un nouvel analyseur a été installé et testé durant la Phase I d'ASPI au laboratoire de glaciologie de l'ULB. Les expériences préliminaires démontrent sans ambiguïté l'importance de telles inclusions de glace marine sur l'écoulement glaciaire : la glace marine est plus difficile à déformer que la glace météorique dans un champ typique de contraintes de plateforme de glace (compression verticale uniaxiale avec extensions latérale et longitudinale) et doit donc exercer un effet stabilisant sur le système entier. L'importance de tels résultats est à mettre en parallèle avec les résultats de modélisation inverse de la zone de transition. Cette dernière technique permet de déterminer les propriétés de viscosité de la glace et/ou les caractéristiques basales dans la zone de transition, sur base de l'observation de la configuration de la calotte (épaisseur de glace et topographie de surface) et des vitesses de surface. La modélisation inverse permet donc de déterminer la taille de la zone de transition, qui est un facteur important pour la modélisation prédictive. Par exemple, l'application à *Pine Island Glacier* (Antarctique de l'Ouest) permet clairement de déterminer la position du début de l'*ice stream* et de démarquer les régions où le couplage de contraintes est essentiel.

Non seulement l'influence océanique est une condition aux limites importante, mais les conditions thermiques basales ont aussi une influence sur le comportement de la calotte antarctique. Dès que la glace atteint le point de fusion, de l'eau de fonte apparaît ce qui augmente l'écoulement de glace.

Aussi, la présence de lacs sous-glaciaires est contrôlée par les conditions thermiques basales. A l'aide d'un modèle cryosphérique avec couplage thermomécanique, l'influence de la variabilité spatiale du flux géothermique sur le régime de température basale de la calotte antarctique a été investigué. Une comparaison a été effectuée entre ces résultats et les observations de températures basales connues (par exemple sur les sites de carottages de glace) ainsi que la distribution spatiale des lacs sous-glaciaires. De cette manière, il a été possible de déterminer d'une part le set de données le plus adéquat pour effectuer de futures expériences de modélisation et d'autre part quelles sont les conditions basales les plus probables sous la calotte antarctique. Ce travail a été réalisé dans le cadre du projet EPICA et a combiné dans une même optique l'expertise du groupe de modélisateurs de la VUB et celui du groupe de glaciologues de l'ULB.

Les conditions thermiques basales ne contrôlent pas seulement fortement l'écoulement de la glace ; elles régissent également la nature des interactions entre la glace profonde et l'interface. En conséquence, cela impose des restrictions potentielles sur la validité des reconstructions climatique et environnementale de la glace plus vieille. La recherche menée dans le cadre d'ASPI s'est plus spécifiquement concentrée sur le cas moins bien compris où la fonte se produit à l'interface glace/roche sans règle que l'on peut détecter (EPICA DOME C). Nous avons montré que, dans ce cas, la plupart des signatures paléo climatiques dans la glace sont préservées, malgré quelques remaniements locaux des impuretés chimiques (échelle de la taille des cristaux, décimètres) à des températures relativement hautes et modifiant la configuration des contraintes près du lit. Cependant, quand il y a des changements de la topographie du lit rocheux (quelques centaines de mètres) comme dans EDC, l'échelle du temps peut être modifiée de manière significative, surtout au-dessus de la séquence de glace basale (inclusions solides visibles) et limitant donc potentiellement nos possibilités d'exploration à un million d'années.

Des travaux précédents de l'équipe ont montré que lorsqu'on considère les calottes à une plus grande échelle (GRIP, Dye-3), un mélange important se produit entre la pré-calotte locale et la glace active de la calotte quand l'interface est en dessous du point de fusion. Le projet ASPI a entrepris l'étude de la couche médiane (1000 m) de la glace basale de la calotte de Berkner Island. Les résultats de cette étude montrent que, bien que la glace du bas a clairement perdu son signal paléo climatique et ce bien au-dessus de la couche de glace basale riche en débris (impact biogénique), la transition est douce pour toutes les variables de gaz et ne montre aucun signe de mélange mécanique. Cela suggère que la glace est beaucoup plus jeune et n'a connu aucun déplacement significatif de la calotte.



ASPI - Résultats

Processus et interactions sous-glaciaires en Antarctique: rôle des zones de transition dans la stabilité de la calotte glaciaire

Les lacs sous-glaciaires constituent un type de zones de transition qui est de plus en plus étudié. Les observations les plus récentes démontrent que les lacs sous-glaciaires canalisent et apportent des quantités significatives d'eau basale au système hydrologique sous-glaciaire. Dès lors, ils ont le potentiel de déstabiliser les calottes s'ils débordent soudainement (exemple : côte de la calotte antarctique orientale). Dans le projet ASPI, nous recherchons l'effet du drainage des lacs sous-glaciaires sur la stabilité de la calotte et particulièrement la réaction du système hydrologique sous-glaciaire suite au drainage et aux inondations. Des expériences préliminaires montrent que de petits changements dans la topographie de surface peuvent facilement mener à un drainage partiel de tels lacs.

Les zones de transition de la calotte antarctique, que ce soient des lignes d'ancrage, des lacs sous-glaciaires ou des interfaces sous-glaciaires, sont des éléments clés dans le comportement dynamique et la stabilité de la calotte antarctique. Même s'il s'agit seulement de la première phase du projet ASPI, nous commençons à mieux comprendre les processus sous-glaciaires et les interactions qui se déroulent au niveau de ces interfaces. Ces zones de transition paraissent plus importantes que jamais en tant que facteurs de contrôle de la calotte.

CONTRIBUTION DU PROJET A UNE POLITIQUE DE DÉVELOPPEMENT DURABLE

La contribution majeure du projet ASPI aux politiques de développement durable réside dans le fait qu'il a joué un rôle crucial pour garder une entité de recherche belge opérationnelle aux échelles nationale et internationale. Les équipes qui ont participé au projet ASPI possèdent d'une part une expertise unique en modélisation glaciologique - ce qui est confirmé par les modèles cryosphériques à la pointe comprenant quelques-uns des très rares modèles 3D au monde portant sur la totalité de la calotte antarctique -, et d'autre part une expertise unique dans l'investigation des propriétés glaciaires basales ainsi que leur signification paléoclimatique. Les résultats développés au sein de ce projet sont dès lors très importants dans le cadre des grands projets politiques internationaux (GIEC, SCAR, CliC, IPICS) et préparent le terrain pour une participation plus poussée des équipes de modélisation de la VUB et de l'ULB dans les projets de recherche EU FP7 tels que ice2sea (dont le but est d'estimer la contribution future des glaces continentales à la hausse du niveau marin).

COORDONNEES

Site web du projet:

<http://homepages.ulb.ac.be/~fpattyn/asp>

Coordinateur

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>

Promoteurs

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>

