

**Université catholique de Louvain
Earth and Life Institute
Georges Lemaître Centre for Earth and Climate Research**



**Propositions de travaux de fin d'études
de second cycle**

Année académique 2012-2013

Année académique 2012 – 2013
Proposition de travail de fin d'études de second cycle

1. Physique de la Terre et de l'Espace

- Sujet 1 :** *Déterminer la vapeur d'eau atmosphérique à partir des signaux GPS et Galileo*
- Sujet 2 :** *Structure interne des satellites de glace*
- Sujet 3 :** *Marées de Jupiter et Saturne*
- Sujet 4 :** *Visite d'un astéroïde ou une petite lune dans le système solaire par sonde spatiale*
- Sujet 5 :** *Bolomètre à bord de nano-satellites du projet QB50 et de futures missions Martiennes.*
- Sujet 6 :** *Calcul des géométries d'orbites de satellites autour de la Terre pour obtenir le TEC (contenu en électron de l'ionosphère).*
- Sujet 7 :** *Contribution des mesures DOR ou deltaDOR aux mesures de radioscience classique*
- Sujet 8 :** *Dynamique dans les océans des lunes de glace du système solaire et de Titan en particulier*
- Sujet 9 :** *Dynamique dans les océans des lunes de glace de Jupiter et d'Europe en particulier*
- Sujet 10 :** *Couplage topographique et visqueux entre le noyau et le manteau*
- Sujet 11 :** *Etude de la technologie d'un transpondeur pour la planète Mars.*
- Sujet 12 :** *Reconstruction des profils atmosphériques Martiens à partir des données de vol d'une capsule d'entrée*
- Sujet 13 :** *Développement d'un modèle de diffusion simple dans l'observation du limbe stratosphérique dans le cadre de l'instrument belge ALTIUS*
- Sujet 14 :** *La dynamique des ceintures de radiations de Van Allen*
- Sujet 15 :** *Etude des événements à particules solaires énergétiques*

2. Physique du Climat

- Sujet 1 :** *Plan d'expériences du simulateur HadCM3 au forçage astronomique*
- Sujet 2 :** *Effets des incertitudes de datation sur l'analyse de signaux paléoclimatiques.*
- Sujet 3 :** *Sensibilité de la circulation océanique polaire à la représentation de la glace de mer dans un modèle numérique*
- Sujet 4 :** *Quel est l'impact de la complexification de la représentation de la glace de mer dans les modèles de circulation générale du climat sur la simulation des banquises arctique et antarctique.*
- Sujet 5 :** *Origines des différences entre les régimes de fonte de surface de la glace de mer arctique et antarctique.*
- Sujet 6 :** *Introduction et applications d'un diagnostique de la déformation de la glace de mer dans le modèle LIM3.*
- Sujet 7 :** *Importance du transfert radiatif au sein du système neige/glace sur les bilans de masse et d'énergie de la banquise.*
- Sujet 8 :** *Développement d'une méthode eulérienne-lagrangienne pour la dynamique de la glace de mer*
- Sujet 9 :** *Modélisation de la glace présente à la surface des lacs antarctiques*
- Sujet 10 :** *Analyse des changements d'étendue de glace de mer simulés par différents modèles pour des conditions correspondant au milieu de l'Holocène (6000 BP).*
- Sujet 11 :** *Estimation de l'influence du climat sur la croissance des arbres au cours du dernier millénaire.*

Sujets présentés par Eric Deleersnijder (CESAME)

- Sujet 12 :** *Les épidémies de choléra : Modélisation et application à Haïti et en RDC*
- Sujet 13 :** *Diffusion fractionnaire et Lévy flights : de la dispersion du pollen transgénique aux krachs boursiers...*
- Sujet 14 :** *Dynamique des océans des lunes de glace du système solaire, en particulier Titan*
- Sujet 15 :** *Aspects spatiaux dans la modélisation mathématique des maladies infectieuses*
- Sujet 16 :** *Modélisation écologique de l'estuaire de l'Escaut*
- Sujet 17 :** *Modélisation des métaux lourds dans l'estuaire de l'Escaut*
- Sujet 18 :** *Stabilité des fermetures turbulentes*
- Sujet 19 :** *Conditions hydrodynamiques induisant les efflorescences phytoplanctoniques au lac Tanganyika*

Physique de la Terre et de l'espace

Année académique 2012–2013

Proposition de travail de fin d'études de second cycle

Promoteur : Pascale DEFRAIGNE, Observatoire Royal de Belgique,
tél. : 02/373.02.60, courriel : p.defraigne@oma.be

Sujet : Déterminer la vapeur d'eau atmosphérique à partir des signaux GPS et Galileo

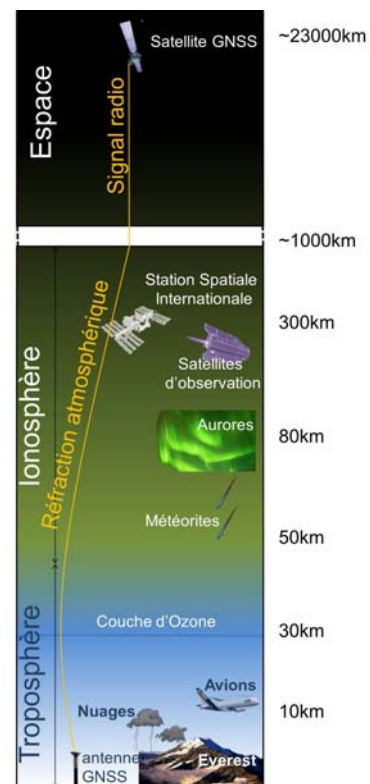
Brève description :

Le système GPS et son futur équivalent européen, Galileo, permettent à tout utilisateur de déterminer précisément sa position sur Terre. Le fonctionnement de ces systèmes est basé sur des mesures de temps de parcours de signaux radio émis par les satellites vers la Terre. Mais comme ces signaux traversent les différentes couches de l'atmosphère terrestre, ils subissent des retards qui doivent être corrigés lors du calcul de positionnement.

Cette source d'erreurs pour le positionnement permet cependant d'étudier l'atmosphère de la Terre. Le retard subi par les signaux est dû notamment à la présence de vapeur d'eau dans la troposphère. Les mesures GPS (et futures Galileo) permettent donc d'en mesurer la quantité, et en continu, une information très utile pour les prévisions météorologiques.

Actuellement, les scientifiques de l'ORB fournissent toutes les heures aux centres météorologiques en Europe des cartes détaillées de vapeur d'eau à l'échelle européenne. Ces résultats sont obtenus à partir d'un calcul faisant intervenir toutes les mesures collectées par un réseau de stations installées en Europe. L'ensemble des mesures est traité en un seul bloc, ce qui demande un temps de calcul considérable.

L'objet du mémoire est d'étudier la faisabilité d'un traitement station par station afin de réduire les temps de calcul tout en préservant la qualité des résultats en terme de vapeur d'eau atmosphérique. Il s'agira pour cela d'utiliser le logiciel Atomium développé à l'Observatoire et d'effectuer les tests de sensibilité qui détermineront la stratégie optimale d'analyse pour fournir la quantité de vapeur d'eau atmosphérique en accord avec les exigences des météorologues en terme de précision, exactitude, délai temporel, couverture spatio-temporelle....



Année académique 2012 – 2013
Proposition de travail de fin d'études de second cycle

Promoteur : Veronique Dehant ; co-Promoteurs : Tim Van Hoolst

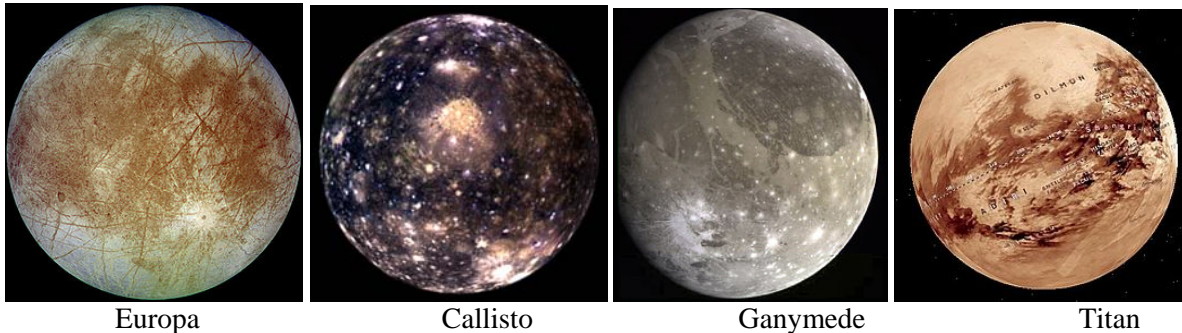
v.dehant@oma.be ; vanhoolst@oma.be

Observatoire royal de Belgique et UCL

Tel : 02 373 0266 (V. Dehant) ;

Sujet : *Structure interne des satellites de glace*

Brève description :



Les grands satellites de glace de notre système solaire sont étonnamment très différents et dynamiquement actifs. Une caractéristique particulièrement intéressante de ces satellites est qu'ils peuvent avoir un océan global en dessous de la surface, sous leurs coquilles de la glace extérieure. Parmi les plus grands objets de ces classes on trouve Ganymède, Callisto et Europa (trois des quatre satellites galiléens de Jupiter déjà détectés par Galilée en 1610) et Titan, le plus gros satellite de Saturne. Ganymède et Titan sont encore plus grands que la plus petite planète, Mercure. Les satellites Galiléens ont été étudiés en détails par la mission Galileo entre 1995 et 2003 et la sonde Cassini est encore en train d'observer Titan de son orbite autour de Saturne.

Le but de ce projet est de construire des modèles détaillés de la structure interne des grands satellites de glace en se basant sur l'expertise développée au cours des 10 dernières années dans notre groupe dans le domaine de la modélisation de la structure interne des planètes telluriques du système solaire. Les modèles utilisent des données sur le comportement des matériaux planétaires comme des roches silicatées et des alliages de fer sous haute pression et température et seront complétés par des données de haute pression et température de la glace. Un approfondissement concernant l'intérieur profond des planètes peut encore être obtenu en comparant les données sur les marées et la rotation des planètes avec les prédictions du modèle théorique. Par exemple, nous avons récemment montré qu'il est vraisemblable que Mars ne possède pas de noyau interne solide comme la Terre. Ici, nous allons aussi étudier comment les données géodésie peuvent être utilisées pour obtenir des informations sur la structure interne des plus grands satellites de glace de Jupiter et de Saturne.

Version anglaise: The interior structure of large icy satellites

The large icy satellites of our solar system are surprisingly diverse and dynamically active. A particularly interesting feature of these satellites is that they may have a global subsurface ocean beneath their outer ice shells. Among the largest objects of these class are Ganymede, Callisto, and Europa (three of the four Galilean satellites of Jupiter already detected by Galileo Galilei in 1610) and Titan, the largest satellite of Saturn. Ganymede and Titan are even larger than the smallest planet, Mercury. The Galilean satellites have been investigated in detail by the Galileo mission between 1995 and 2003 and the Cassini spacecraft is still observing Titan from its orbit around Saturn.

The goal of this project is to construct detailed models of the interior structure of large icy satellites based on the expertise developed over the last 10 years in our group to model the interior structure of the terrestrial planets of the solar system. The models make use of data on the behavior of planetary materials like silicate rocks and iron under high pressure and temperature and will be complemented

by high pressure and temperature data on ice. Further insight into the deep planetary interior can be obtained by comparing data about the tides and rotation of the planets with theoretical model predictions. For example, we have recently shown that Mars most likely does not have a solid inner core like the Earth. Here, we will also study how geodesy data can be used to obtain information on the interior structure of the large icy satellites of Jupiter and Saturn.

Année académique 2012 – 2013

Proposition de travail de fin d'études de second cycle

Promoteur : Veronique Dehant ; **co-Promoteurs :** Tim Van Hoolst

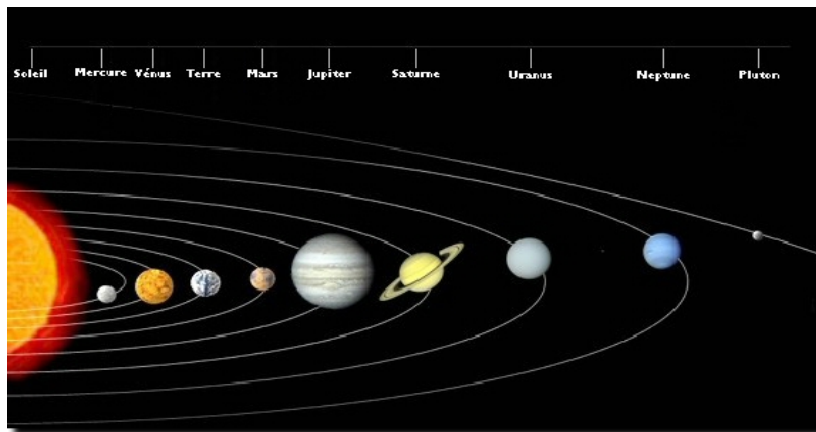
v.dehant@oma.be ; vanhoolst@oma.be

Observatoire royal de Belgique et UCL

Tel : 02 373 0266 (V. Dehant) ;

Sujet : *Marées de Jupiter et Saturne*

Brève description :



Comme la Lune soulève les marées sur la Terre, les satellites/lunes des géantes gazeuses de notre système solaire induisent des déformations de marée sur leur planète centrale. Bien que les marées de Jupiter et de Saturne n'ont pas encore été mesurées, elles peuvent avoir une influence observable sur l'évolution orbitale des satellites naturels. Les orbites des satellites évoluent sur des échelles de temps longues en raison de la dissipation associée à des marées de la planète dues aux satellites. Par exemple, la dissipation de marée dans la Terre est connue pour causer l'éloignement lent de Lune par rapport à la Terre. La dissipation de marée dans la Lune est beaucoup plus petite et aurait tendance à rapprocher lentement la Lune de la Terre. Les marées et les dissipations de marée n'ont guère été étudiés pour Jupiter et Saturne, en dépit de leur importance pour l'évolution orbitale des satellites naturels. Par ailleurs, pour la plupart des satellites proches de la planète, tels que Io et Europe, pour Jupiter, l'évolution orbitale est également un des principaux moteurs de leur évolution thermique. La raison en est que la dissipation de marée dépend de l'excentricité orbitale. Une excentricité relativement importante est nécessaire pour que la dissipation de marée soit une source de chaleur importante pour le satellite. Par exemple, le volcanisme sur Io est dû à l'énorme dissipation de marée et Europa est supposé avoir un océan sous la surface en dessous de sa surface suite à de la dissipation de marée interne. D'après une analyse récente des données de position des satellites galiléens, il a été démontré que l'excentricité de Io diminue lentement suite éventuellement à la désintégration du volcanisme sur Io.

Le but de ce projet est de calculer les marées et la dissipation de marée dans Jupiter et de Saturne pour différents modèles de l'intérieur de ces planètes. Un code numérique sera développé sur base des codes existants pour des planètes de type terrestre et pour les étoiles. Deux modèles d'intérieur avec et sans un noyau solide seront considérés et les effets du noyau sur l'amplitude des marées et de la dissipation de marée seront déterminés. Nous allons étudier quels sont les paramètres les plus importants pour la dissipation de marée dans Jupiter et Saturne. Les résultats attendus sont très importants pour une meilleure compréhension de l'intérieur des géantes gazeuses ainsi que de l'évolution orbitale et thermique des grands satellites.

Version anglaise: Tides of Jupiter and Saturn

Like the Moon raises tides on the Earth, the satellites of the gas giants in our solar system induce tidal motions in their central planet. Although tides of Jupiter and Saturn have not yet been measured, they can have an observational influence on the orbital evolution of the satellites. Satellite orbits evolve on long time scales due to dissipation associated with tides in both the satellite and the planet. For example, tidal dissipation in the Earth is known to cause the orbit of the Moon to slowly expand. Tidal dissipation in the Moon is much smaller and would tend to move the Moon slowly inwards to the Earth. Tides and tidal dissipation have hardly been studied for Jupiter and Saturn, despite their importance for the orbital evolution of the satellites. Moreover, for many of the satellites close to the planet, such as Io and Europa for Jupiter, the orbital evolution is also a main driver for their thermal evolution. The reason is that tidal dissipation depends on the orbital eccentricity. A relatively large eccentricity is needed in order for tidal dissipation to be an important heat source for the satellite. For example, volcanism on Io is due to the enormous tidal dissipation and Europa is thought to have a subsurface ocean close to its surface as a result of the internal tidal dissipation. From a recent analysis of positional data of the Galilean satellites, it has been shown that Io's eccentricity is probably slowly decreasing, eventually resulting in the decay of volcanism on Io.

The goal of this project is to calculate the tides and tidal dissipation in Jupiter and Saturn for different models of the interior of these planets. A numerical code will be developed based on existing codes for terrestrial type planets and stars. Both interior models with and without a solid core will be considered and the effect of a core on the tidal amplitude and tidal dissipation will be determined. We will study which parameters are most important for tidal dissipation in Jupiter and Saturn. The results are expected to be important for a better understanding of both the interior of the gas giants and the orbital and thermal evolution of the large satellites.

Année académique 2012 – 2013

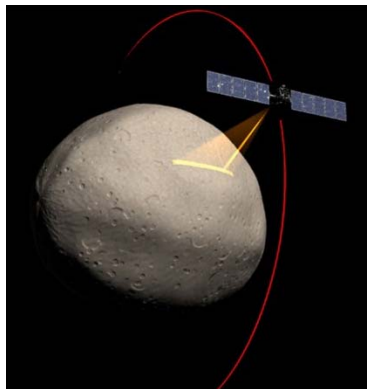
Proposition de travail de fin d'études de second cycle

Promoteur : Pascal ROSENBLATT : p.rosenblatt@oma.be

Observatoire royal de Belgique, 3 Avenue Circulaire, 1180 Bruxelles et UCL, Tél : 02 373 6730

Sujet : *Visite d'un astéroïde ou une petite lune dans le système solaire par sonde spatiale*

Brève description : Suite aux missions spatiales vers des astéroïdes qui donneront des résultats dans un avenir proche (comme la mission DAWN de la NASA) ou celles qui sont envisagées (comme MarcoPolo entrant en Phase A en début de l'année 2012), il y a un regain d'intérêt important des scientifiques pour ces « petits » corps du système solaire. En particulier, les images récentes de Vesta et Cérès qui ont été prises et les observations d'astéroïdes binaires ont fait la une des journaux scientifiques les plus connus.



Dawn fera un voyage dans la ceinture d'astéroïdes et en particulier visitera Vesta (ci-dessus) et Cérès.

La connaissance de l'intérieur de ces petits corps, en plus de celle de leur surface, est nécessaire pour mieux comprendre leur origine et leur évolution. Les sondes spatiales navigant à proximité ou orbitant autour de ces petits corps permettent d'obtenir des informations sur leur intérieur. Pour cela, on s'appuie sur les signaux radio transmis par la sonde vers la Terre en utilisant l'antenne à haut gain de la sonde et les antennes des réseaux de stations sur Terre. Ce signal change de fréquence (effet Doppler) lorsque la vitesse de la sonde par rapport à la Terre change. Ces changements de vitesse sont en particulier tributaires de la distribution des masses à l'intérieur du corps et peuvent donc renseigner sur les variations de densité interne (compositionnelle ou structurelle). En utilisant l'ensemble des données collectées lors d'une mission il est possible de reconstituer l'information concernant les masses à l'intérieur des corps célestes et même la rotation de ces masses sous l'engin spatial en orbite. La répartition des masses est décrite à travers le « champ gravitationnel » et la rotation de ces corps. L'étude de la rotation nécessite de connaître son amplitude, l'orientation de l'axe de rotation ainsi que les variations de celles-ci.

L'objectif du mémoire est de montrer qu'on peut obtenir des informations pertinentes sur l'intérieur d'un astéroïde ou d'une petite lune du système solaire à partir des signaux radio de poursuite des sondes spatiales passant à proximité ou orbitant autour de ces corps. En particulier, une stratégie d'analyses de ces données radios sera développée en tenant compte des contraintes propres aux missions spatiales.

Ce travail peut mener à une publication scientifique et se prolonger en une thèse de doctorat.

Année académique 2012 – 2013

Proposition de travail de fin d'études de second cycle

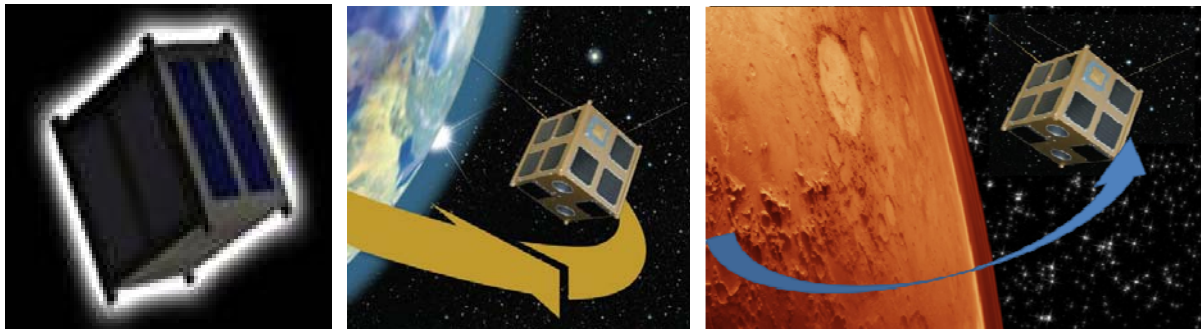
Promoteur : Véronique DEHANT ; **co-Promoteurs :** Ozgur Karatekin

courriels : v.dehant@oma.be, et karatekin@oma.be

Observatoire royal de Belgique, 3 Avenue Circulaire, 1180 Bruxelles et UCL, Tél : 02 373 0266 (V. Dehant) ; 02 373 6732 (O.Karatekin)

Sujet : *Bolomètre à bord de nano-satellites du projet QB50 et de futures missions Martiennes.*

Brève description :



QB50 a l'objectif scientifique d'étudier in situ les variations temporelles et spatiales d'un certain nombre de constituants et de paramètres clés dans la basse thermosphère (90-320 km) avec un réseau de 50 CubeSats (10cm x 10cm x 10cm) doubles, séparés par quelques centaines de kilomètres. Dans le cadre des études géodynamiques, l'Observatoire royal de Belgique a développé un concept spécifique d'un instrument, un bolomètre, et la technologie associée à la micro thermométrie dans le but de mesurer les changements de température et les flux thermiques.

Le bolomètre permettra de mesurer les flux radiatif et thermique ainsi que la température ambiante avec une très large gamme dynamique. Les objectifs scientifiques sont essentiellement de fournir des mesures in situ des flux radiatifs aux longueurs d'onde choisie (visible, IR). Puisque le flux infrarouge de la Terre varie à cause des changements de l'albédo, la couverture nuageuse, etc aérosols, la détection des variations de flux radiatif avec une gamme dynamique très élevée donnera des informations précieuses sur le bilan énergétique de la Terre.

Nous développons cet instrument avec l'idée de l'exporter vers d'autres planètes du système solaire et la planète Mars en particulier. L'objectif dans ce cadre est d'obtenir le flux de chaleur de la planète et de contraindre ainsi son climat et son évolution. Nous utilisons des thermistances qui sont des résistances thermiquement sensibles faites de matériau semi-conducteur. La résistivité du capteur est une fonction connue de la température. Le capteur ressemble à une résistance classique. Mesurer et numériser la résistance de la sonde reliée à un pont de Wheatstone permet de calculer la température de la sonde. Les thermistances sont de petite dimension, avec des gammes de tension, courant et puissance suffisamment petites pour les rendre appropriées pour une utilisation sur CubeSats (nanotechnologie).

Le lancement de QB50 est prévu pour 2014 et notre technologie sera à bord du vol précurseur de 2013.

Ce travail peut mener à une publication scientifique et se prolonger en une thèse de doctorat.

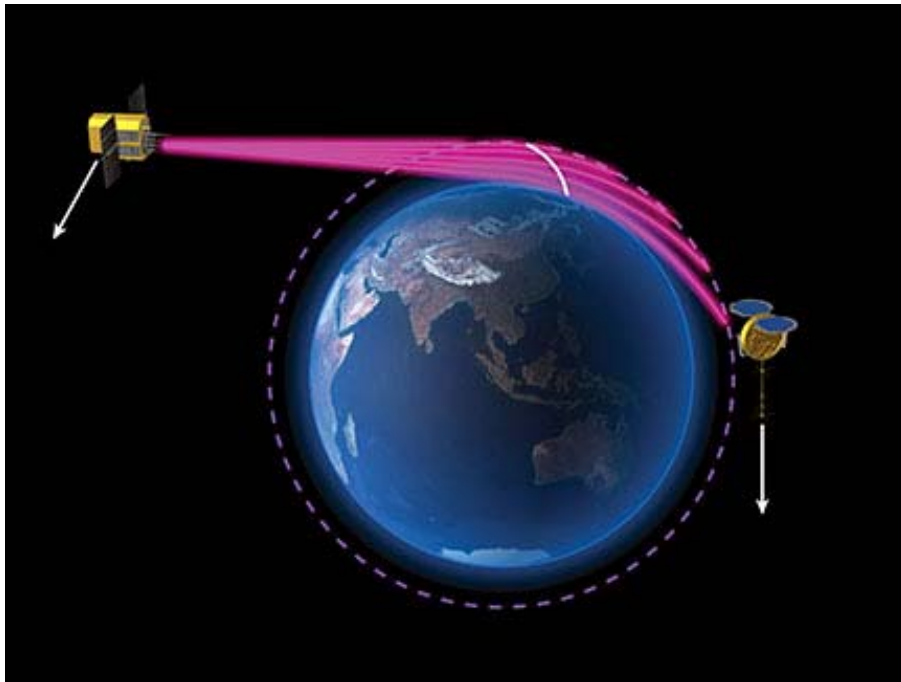
Année académique 2012 – 2013

Proposition de travail de fin d'études de second cycle

Promoteur : Véronique DEHANT ; **co-Promoteurs :** Pascal Rosenblatt et Carine Bruyninx, courriels : v.dehant@oma.be, et rosenblatt@oma.be ; c.bruyninx@oma.be, Observatoire royal de Belgique, 3 Avenue Circulaire, 1180 Bruxelles et UCL, Tél : 02 373 0266 (V. Dehant) ; 02 373 6730 (P. Rosenblatt) ; 02 373 0292 (C. Bruyninx)

Sujet : *Calcul des géométries d'orbites de satellites autour de la Terre pour obtenir le TEC (contenu en électron de l'ionosphère).*

Brève description :



Les satellites du système Américain GPS sont à une altitude d'environ 20000km, ceux du système Russe GLONASS à une altitude d'environ 19000km, et ceux du futur système Européen GALILEO à une altitude d'environ 23000km. Tous ces satellites GNSS (Global Navigation Satellite System) surplombent en fait un grand nombre de satellites bas équipés de récepteurs GNSS. Les radiofréquences utilisées sont à chaque fois en nombre au moins supérieur à 2 ; ceci permet de combiner les fréquences pour obtenir le TEC (Total Electron Content), c'est-à-dire le contenu en électrons de l'ionosphère. L'ionosphère de la Terre est une région à l'extérieur de l'atmosphère qui contient une forte concentration d'électrons libres. On sait à présent que des événements électriques surviennent quand des nuages de particules chargées sont projetés par le vent solaire ou par une éruption solaire ou Éjection de Masse Coronale (CME). Quand l'éruption est intense, si la Terre est sur la trajectoire des particules chargées, le résultat peut être catastrophique pour tous les systèmes de communication. Il faut donc dans le futur surveiller l'activité du Soleil et ses effets sur notre atmosphère (on parle de météorologie spatiale), et en particulier mesurer le TEC. Dans ce cadre, l'ESA a équipé et envisage d'équiper les satellites bas de récepteurs GNSS. Le mémoire consiste à étudier les perturbations ionosphériques sur les signaux radio GNSS, la reconstitution d'une image en 3D de l'ionosphère au départ du TEC obtenu et des géométries possibles pour obtenir.

On peut encore appliquer l'étude du mémoire à celle du TEC de la planète Mars. Il existe en effet quelques satellites en orbites autour de Mars et il serait opportun de proposer un ou plusieurs petits satellites bas pour faire ce même genre d'étude.

Ce travail peut mener à une publication scientifique et se prolonger en une thèse de doctorat.

Année académique 2012– 2013

Proposition de travail de fin d'études de second cycle

Promoteur : Véronique DEHANT ; **co-Promoteur :** Marie Yseboodt et Michel Mitrovic,

courriels : v.dehant@oma.be, yseboodt@oma.be, m.mitrovic@oma.be

Observatoire royal de Belgique, 3 Avenue Circulaire, 1180 Bruxelles et UCL, Tél : 02 373 0266 (V. Dehant)

Sujet : *Contribution des mesures DOR ou deltaDOR aux mesures de radioscience classique*

Brève description :



Les antennes du DSN (Deep Space network) positionnent les sondes spatiales en utilisant les signaux radio en bande S et en bande X et même en bande Ka. Ces bandes de fréquences permettent d'obtenir une mesure Doppler du signal radio et donc une vitesse radiale relative, extrêmement précise. D'autre part, les stations d'observations peuvent également travailler avec plusieurs antennes et faire du différentiel en utilisant plusieurs stations séparées par une longue ligne de base. Il s'agit de la technique du VLBI (Very Long Baseline Interferometry). Le VLBI est une technologie de calcul basée sur le spectre croisé de puissance d'un signal numérique enregistré à deux ou plusieurs radiotélescopes avec des générateurs de fréquences indépendantes très stables. Ce spectre est utilisé pour déterminer les délais de vitesse de groupe des ondes radio ou les retards de leur phase. Les centres d'opérations de la NASA et de l'ESA utilisent la technique VLBI pour des mesures en Delta-DOR par lesquelles on mélange une séquence de scans d'une sonde spatiale et une séquence de scans de sources extragalactiques (qui ne sont pas nécessairement les quasars). Les observables sont les retards de groupe ou de phase à la fois pour la cible (la sonde) et les calibrateurs (les radio-sources). La précision des observations basées sur les retards de groupe en Delta-DOR est au niveau de dizaines nanoradians, c'est-à-dire de quelques km pour une distance typique de Mars de $2 \cdot 10^{11}$ mètres. Les observations basées sur les délais de phase nous permettent d'obtenir un déplacement tangentiel de la cible par rapport au calibrateur avec la précision de 0.5-1.0 nanoradian. Cela se traduit par une précision de 100-200 mètres à la surface de la planète Mars. La position absolue est limitée par la précision des positions du calibrateur, habituellement au niveau d'un nanoradian. Le travail consistera à rassembler les informations concernant ces techniques, bien comprendre les complémentarités et les limitations de chacune d'elle, et d'en déduire une stratégie d'observation pour une sonde spatiale autour de Mars ou un atterrisseur à la surface de Mars.

Ce travail peut mener à une publication scientifique.

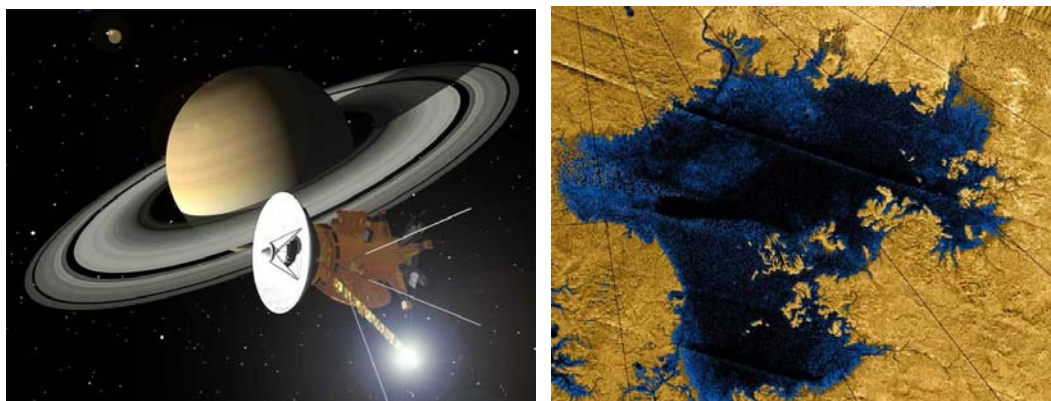
Année académique 2012 – 2013

Proposition de travail de fin d'études de second cycle

Promoteur : Eric Deleersnijder et Véronique Dehant ; **co-Promoteur :** Ozgur KARATEKIN, courriels : v.dehant@oma.be, et o.karatekin@oma.be
Observatoire royal de Belgique, 3 Avenue Circulaire, 1180 Bruxelles et UCL, Tél : 02 373 0266 (V. Dehant)

Sujet : *Dynamique dans les océans des lunes de glace du système solaire et de Titan en particulier*

Brève description :



La mission Cassini Solstice a pour but d'observer les changements saisonniers et temporels dans le système de Saturne. Elle fournit une excellente occasion d'étudier les saisons sur Titan, la plus grande lune de Saturne. Les données de Cassini (sondes, voir ci-dessus) vont couvrir jusqu'à un an et demi de Titan et peuvent être utilisées pour étudier les variations saisonnières et temporelles dans l'atmosphère, les mers et les lacs de surface. La Terre et Mars sont les seuls autres objets du système solaire où nous avons des observations détaillées des variations saisonnières dans les températures de surface, la pression atmosphérique, les vents, l'évaporation des gaz atmosphériques et les marées.

La sonde Cassini (voir image de gauche) a révélé un vaste ensemble de lacs / mers (voir image de droite) remplis ou partiellement remplis d'hydrocarbures liquides et bassins lacustres vides dans les hautes latitudes de Titan. Les lacs apparaissent dans différentes formes et tailles et sont remplis avec des hydrocarbures liquides, principalement du méthane et de l'éthane. Les données provenant d'instruments de Cassini-Huygens (Huygens est le nom de l'atterrisseur qui s'est posé sur la surface de Titan) indiquent qu'un cycle existe sur Titan, avec le méthane jouant un rôle sur Titan similaire à celui de l'eau dans le cycle hydrologique de la Terre et similaire à celui du CO₂ dans le cycle saisonnier de la planète Mars. En plus des variations saisonnières, la différence observée dans la distribution des lacs peut être causée par des phénomènes à longue période similaires à ceux des cycles glaciaires de la Terre et être causée par une asymétrie dans les saisons sur Titan.

Récemment, la sonde Cassini a fourni des observations suggérant pour la première fois des variations temporelles des surfaces des lacs. La variation des rivages peut être expliquée par différentes hypothèses, y compris l'évaporation et les marées. Par ailleurs, d'autres effets tels qu'une bathymétrie variable, l'existence de pentes du littoral, les vents et les déformations verticales du fond des lacs suite aux marées solides peuvent modifier considérablement les estimations théoriques.

Nous proposons d'étudier la réponse en fonction du temps des couches fluides de Titan (mers, lacs et océans souterrains putatifs) aux forces de marée de Saturne. Nous proposons de modéliser la réponse de marée des lacs de surface / océans ainsi que le possible océan de sous-surface au moyen d'un modèle numérique d'eau peu profonde. Le code numérique a déjà été utilisé avec succès pour calculer la réponse de marée pour plusieurs applications sur la Terre et Europa, une lune de Jupiter qui possède un océan en dessous de sa surface de glace. Les simulations peuvent prendre en compte plusieurs

paramètres tels que les vents de surface, la viscosité et la bathymétrie variable. Le code peut être couplé aux marées du corps solide en dessous du lac. La recherche proposée permettra de modéliser les variations observées des rives des lacs / mer de surface et de séparer les effets de marées et l'évaporation. Le mémoire se concentrera sur l'une ou l'autre partie du sujet décrit, en fonction de la volonté de l'étudiant. Plusieurs étudiants peuvent d'ailleurs prendre ce sujet.

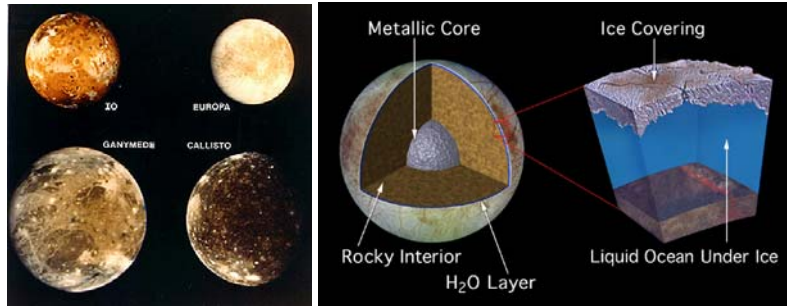
Ce travail peut mener à une publication scientifique et se prolonger en une thèse de doctorat.

Année académique 2012 – 2013
Proposition de travail de fin d'études de second cycle

Promoteur : Eric Deleersnijder et Véronique DEHANT ; **co-Promoteur :** Ozgur KARATEKIN, courriels : v.dehant@oma.be, et o.karatekin@oma.be, Observatoire royal de Belgique, 3 Avenue Circulaire, 1180 Bruxelles et UCL, Tél : 02 373 0266 (V. Dehant)

Sujet : *Dynamique dans les océans des lunes de glace de Jupiter et d'Europe en particulier.*

Brève description :



Les observations des missions spatiales Cassini et Galileo suggèrent la présence d'océans globaux sous les coquilles de glace de certains satellites naturels de Jupiter et de Saturne. Des études précédentes ont montré qu'en présence d'océans intérieurs, les marées causent des déplacements de la surface de plusieurs dizaines de mètres, et que la dissipation de la marée peut devenir une source d'énergie majeure. Cependant, dans la plupart des études jusqu'ici, la dynamique de ces océans a été négligée. Une meilleure compréhension de marées océaniques et de la dissipation est centrale dans l'amélioration de notre compréhension de l'état présent et de l'évolution des satellites de Jupiter et de Saturne (et peuvent avoir des conséquences sur l'habitabilité des ces mondes). Des études préliminaires ont montré que les marées océaniques peuvent être en dehors de l'équilibre (Toubeau et al., 2007). De plus, des études analytiques récentes (Tyler, 2008, doi: 10.1038/nature07571) montrent que les vitesses des courants océaniques peuvent être beaucoup plus grandes que supposé précédemment à cause d'une résonance dynamique entre le forçage de marée et des ondes de Rossby-Haurwitz. Dans l'étude présente, nous proposons d'examiner la réponse de l'océan d'Europe à un potentiel de marée. Les équations "Shallow-Water" (eau peu-profonde) non-linéaires seront résolues sur une sphère en utilisant un code d'élément fini. Le champ de vitesse et les déplacements surfaciques seront calculés pour différentes propriétés océaniques et différentes conditions aux frontières. Les résultats seront comparés aux solutions analytiques. Cette étude permettra d'étudier les effets potentiellement observables dans les déplacements de surface et dans les variations dans la rotation et dans le champ de pesanteur externe.

Ce travail peut mener à une publication scientifique et se prolonger en une thèse de doctorat.

Résumé en anglais : Dynamics of the oceans of the Jupiter's icy moons, and of Europa in particular.

Observations of Cassini and Galileo spacecrafts suggest the presence of subsurface global water oceans under the icy shells of several natural satellites of Jupiter and Saturn. Previous studies have shown that in the presence of subsurface oceans, tides cause large periodic surface displacements and that tidal dissipation can become a major energy source. However, in most studies so far, the dynamics of these satellite oceans have been neglected and these satellite oceans have been treated, at least implicitly, as simply a heat-conducting lubricant. A better understanding of ocean tides and ocean tidal dissipation is central in improving our understanding of the present state and evolution of several of the icy satellites. Our preliminary studies showed that the ocean tides can be out of equilibrium (Toubeau et al., 2007). In addition, recent analytical studies (Tyler, 2008, doi: 10.1038/nature07571) claim that ocean tidal flow velocities in Europa and other satellite oceans are much larger than

previously assumed and that the higher velocities arrive from dynamical resonance between obliquity tidal forcing and Rossby-Haurwitz waves. Far from the equilibrium-tide ocean previously assumed, the dynamic ocean shows tides that can be resonantly excited. In the present study, we propose to investigate the tidal response of the subsurface ocean of Europa to a time-varying potential. Two-dimensional nonlinear shallow water equations will be solved on a sphere by means of a finite element code. The velocity field and the surface displacements will be calculated for different approximations of the ocean properties and different boundary conditions and will be compared to analytical solutions. These studies will allow us to predict potentially observable effects, in particular surface displacements, variations in the surface rotation, and external gravity field (driven by ocean torques and redistribution of oceanic masses).

This work may lead to a scientific publication and can be extended into a doctoral thesis.

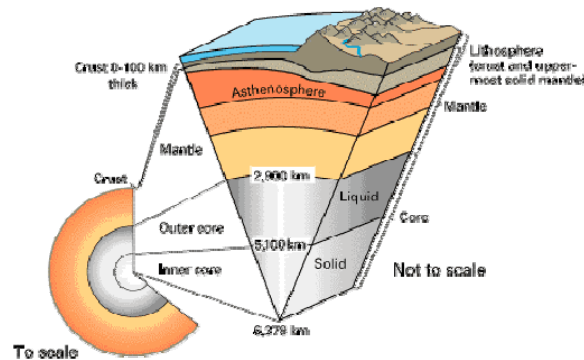
Année académique 2012 – 2013

Proposition de travail de fin d'études de second cycle

Promoteur : Véronique DEHANT ; **co-Promoteur :** Ozgur KARATEKIN,
courriels : v.dehant@oma.be, et o.karatekin@oma.be,
Observatoire royal de Belgique, 3 Avenue Circulaire, 1180 Bruxelles et UCL
Tél : 02 373 0266 (V. Dehant)

Sujet : *Couplage topographique et visqueux entre le noyau et le manteau.*

Brève description :



Les mécanismes de couplage entre le noyau et le manteau terrestre peuvent mener à des variations à long terme de la durée du jour et influencer les amplitudes de nutation de la Terre ou même les périodes des modes de vibrations de la Terre qui influencent les nutations comme la nutation libre du noyau. L'interaction entre le noyau liquide et le manteau engendre notamment des couplages topographiques et visqueux qui restent mal compris. Dans ce projet, on se propose d'étudier ces interactions à l'aide de simulations numériques des écoulements fluides qui apparaissent au sein du noyau. Les grandeurs caractéristiques de ces couplages, obtenues à l'aide d'observations et de calculs analytiques, seront comparées aux résultats numériques. Les résultats pourront être comparés aux résultats obtenus par une méthode analytique développée à l'Observatoire royal de Belgique. Ce travail peut mener à une publication scientifique et se prolonger en une thèse de doctorat.

Année académique 2012 – 2013

Proposition de travail de fin d'études de second cycle

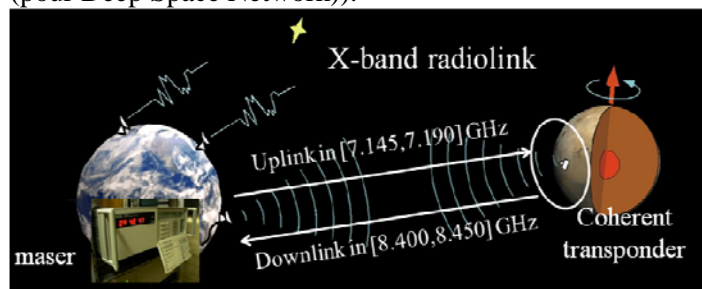
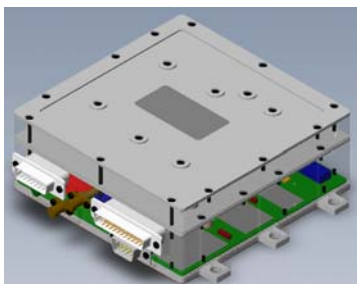
Promoteur : Véronique DEHANT ; **co-Promoteur :** Michel MITROVIC
courriels : v.dehant@oma.be, et m.mitrovic@oma.be
Observatoire royal de Belgique, 3 Avenue Circulaire, 1180 Bruxelles et UCL
Tél : 02 373 0266 (V. Dehant)

Sujet : *Etude de la technologie d'un transpondeur pour la planète Mars.*

Brève description :

L'Agence Spatiale Européenne (ESA) prépare à moyen et à long terme l'exploration automatique et habitée du système solaire (programme AURORA). Dans le cadre cette initiative européenne, la planète Mars est une des cibles privilégiées de ce programme ambitieux (ExoMars project).

L'objectif principal de la mission ExoMars est l'amélioration de nos connaissances de la planète rouge. Cependant, en complément à cet objectif, cette mission doit aussi démontrer le savoir-faire technologique spatial de l'Europe contribuant ainsi à consolider le rôle clé joué par celle-ci dans les futures missions internationales d'exploration. La Belgique prend activement part à la mission ExoMars au travers du projet LaRa (Lander Radio Science). LaRa est un projet géré par l'Observatoire Royal de Belgique dont l'objectif est la conception d'un instrument (LaRa) permettant de rassembler des informations sur l'intérieur de Mars, son atmosphère et ainsi mieux comprendre la formation, l'évolution et l'habitabilité de la planète. LaRa est un transpondeur cohérent full-duplex en bande X /Ka qui sera utilisé pour effectuer des mesures précises de Doppler et/ou de distance (et/ou d'interférométrie) à partir de signaux émis vers les stations de base sol (stations de poursuite ESTRAC (pour ESA TRACKing stations) ou DSN (pour Deep Space Network)).



Actuellement, un premier design de l'instrument a été élaboré permettant de recevoir un signal en bande X à 7.14 GHz et de le réémettre de manière cohérente en bande X à 8.45 GHz (X-UP/X-Down). La synchronisation de l'instrument sur le signal arrivant fortement bruité (émit par une station au sol), sa capacité à maintenir le verrouillage de phase du signal pour des décalages Doppler de l'ordre de 1 KHz, son poids ainsi que sa consommation de puissance constituent des éléments hautement critiques de l'instrument. Par rapport à ce design préliminaire (base line), nous souhaitons étudier de nouvelles options ou évolutions de l'instrument et proposons dans ce cadre plusieurs sujets de mémoire avec une composante ingénierie : (1) Transposition d'un transpondeur X -Up/X-Down vers un transpondeur X-Up/X-Down Ka-Down ; (2) Etude de l'évolution d'un transpondeur Doppler vers un transpondeur Doppler intégrant la fonctionnalité « Ranging » ; (3) Etude de l'intégration des amplificateurs près des antennes et de l'impact de cette intégration sur la performance globale d'un transpondeur en bande X/Ka ; (4) Etude portant sur l'utilisation d'une « Costas Loop » pour améliorer le bilan d'un transpondeur X /Ka band ; (5) Etude des points de défaillance (SPOF) et des mécanismes de redondance d'un circuit RF implémentant les fonctionnalités de base d'un transpondeur X /Ka band ; (6) Caractérisation d'un transpondeur en bande X/Ka conçu pour des missions spatiales interplanétaires ; (7) Etude des différentes techniques de resynchronisation d'un signal bruité suite à un déverrouillage temporaire de la phase ; (8) Etude des filtres d'ordre 2 et 3 des boucles à verrouillage de phase utilisés dans les transpondeurs en bande X/Ka pour le « Tracking Doppler ».

On propose encore les sujets suivants : (9) Dans le cadre d'un lien direct additionnel en bande X LaRa (transpondeur cohérent) – Orbiter, étudier le design d'un transpondeur non cohérent localisé sur l'orbiter permettant, d'une part, de synthétiser un « tone » à 7.14 GHz à partir d'un oscillateur externe ultra stable (USO), d'autre part, de recevoir un signal à 8.45 GHz entaché d'un décalage Doppler en provenance de LaRa, et enfin de comparer la phase entre le signal émis vers LaRa et le signal reçu qui a été préalablement « transpondé » par LaRa. L'étude indiquera également l'impact sur le design actuel de LaRa si on veut faire une communication simultanée full-duplex LaRa-Terre et LaRa-Orbiter. (10) Supervision des horloges d'une paire de transpondeur non cohérent à la surface de Mars communiquant simultanément avec une station au sol : cette étude portera sur les techniques de synchronisation de signaux émis par deux transpondeurs non-cohérents placés à la surface de Mars et qui sont reçus sur Terre avec un certain décalage temporel qu'on souhaite mesurer. En particulier, la technique qui consiste à échanger des signaux synchronisés sur chaque fréquence de référence via un orbiter sera comparée à d'autres méthodes afin de pouvoir mesurer des erreurs entre les horloges des transpondeurs qui soit inférieur à 0.1 ns. Ces campagnes de calibrage des horloges pourront précéder les périodes de communication proprement dites avec la station au sol ou alterner avec celles-ci suivant une stratégie à définir. Cette étude devra définir les contraintes techniques sur les transpondeurs ainsi que les différentes stratégies de mission. Ce sujet et les différentes recherches proposées ci-dessous permettront de définir plusieurs mémoires sur ce thème.

Année académique 2012 – 2013
Proposition de travail de fin d'études de second cycle

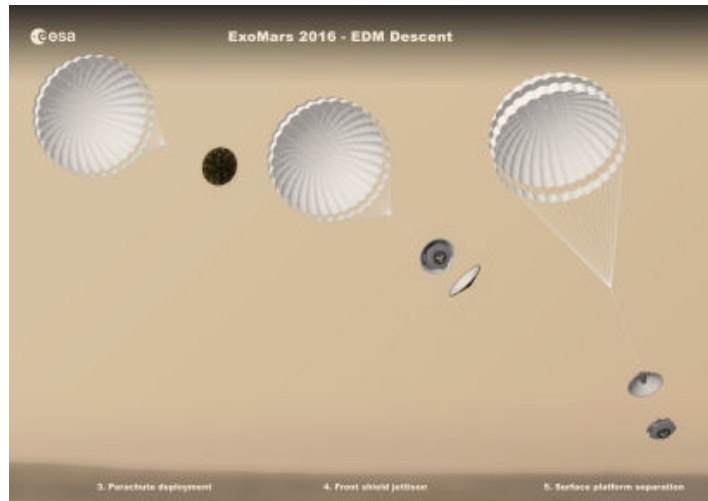
Promoteur : Veronique Dehant ; **co-Promoteur** : Ozgur Karatekin
Courriels : v.dehant@oma.be et o.karatekin@oma.be
Observatoire royal de Belgique et UCL
Tel : 02 373 0266 (V. Dehant)

Sujet : *Reconstruction des profils atmosphériques Martiens à partir des données de vol d'une capsule d'entrée*

Brève description :

Dans le cadre d'un module d'atterrissage Martien, il s'agira d'utiliser des données des accéléromètres et des senseurs d'environnement (mesures de la température et de la pression), ainsi que celles des liens de radio avec un satellite ou la Terre pour calculer les profils de densité et de température dans l'atmosphère de Mars. Ces données ont été/seront récoltées pendant l'entrée dans l'atmosphère, la descente et l'atterrissage de modules spatiaux sur Mars. Le mémoire pour se concentrer sur deux choses :

- Voir ce que les données des atterrisseurs qui ont déjà atterri sur Mars, comme Phoenix et les MER (Mars Exploration Rovers, Spirit et Opportunity) peuvent nous apprendre ; calculer les profils de densité et de température dans l'atmosphère de Mars et comparer avec un modèle d'atmosphère.
- Prédire les performances de la future sonde Européenne 'EXoMars Demonstrator Entry' (voir figure).



Des codes en Matlab et IDL existent déjà (développés à l'Observatoire et au Von Karman Institute (VKI)). Il faudra peut-être faire de légères modifications ou des développements/adaptations mineures.

Ce travail peut mener à une publication scientifique et se prolonger en une thèse de doctorat ou un contrat de recherche.

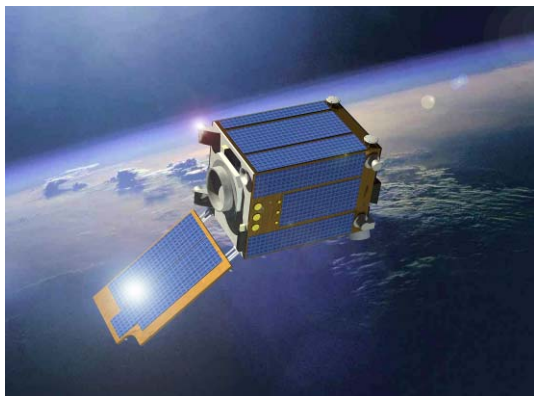
Année académique 2012–2013

Proposition de travail de fin d'études de second cycle

Promoteur : Didier FUSSEN, Institut d'Aéronomie Spatiale de Belgique, 3, avenue Circulaire, B1180 Uccle Tél: 02 3730371, courriel: Didier.Fussen@oma.be

Sujet : *Développement d'un modèle de diffusion simple dans l'observation du limbe stratosphérique dans le cadre de l'instrument belge ALTIUS.*

Short description :



The ALTIUS instrument shall be a spectral imager capable of observing the atmospheric limb in the UV (250-400 nm), VIS (400-800 nm) and NIR (800-1800 nm) domains, with a resolution better than 10 nanometers. For each wavelength range, a distinct Acousto-Optic Tunable Filter (AOTF) will permit to perform observations of selectable small wavelength windows. Ideally, a typical set of 10 wavelength domains shall be recorded in 1 second to record sufficient spectral information content about the priority 1/priority 2 chemical species with a maximal geographical resolution. However, the measurement

time shall be possibly increased up to 50-100 s in the worst case to improve the S/N ratio of the measurement. Also, pixel binning (up to 100) shall also be possible for the same purpose at the price of a reduced transversal resolution.

The purpose of the work is to contribute to a model of limb single scattering in order to understand the geometry of the measured radiance and to investigate the retrieval of ozone vertical concentration profiles.

Skills: Numerical analysis (non-linear least-squares), Statistics (error propagation), MATLAB

Année académique 2012–2013

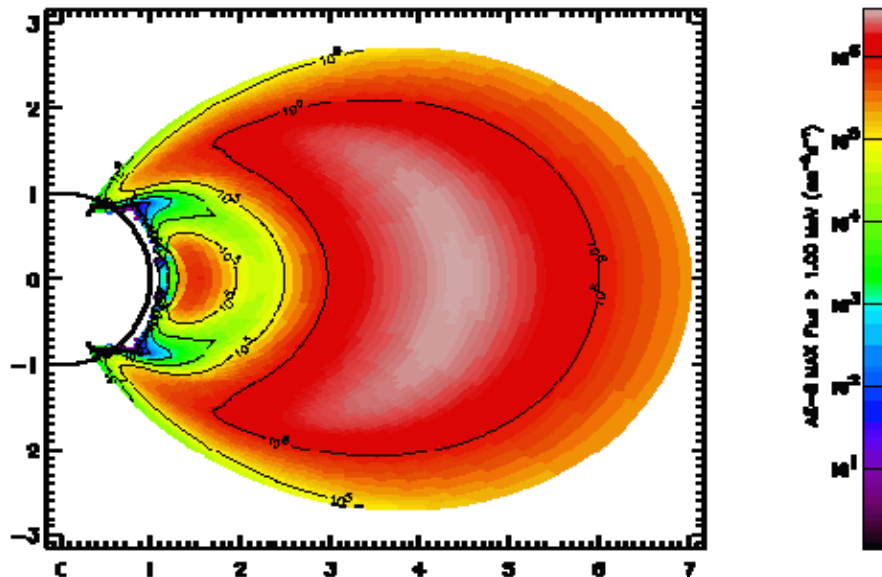
Proposition de travail de fin d'études de second cycle

Promoteur : Viviane PIERRARD, Unité ASTR, Bâtiment Marc de Hemptinne, Louvain-la-Neuve, tél. : 02/373.03.65, courriel : viviane.pierrard@uclouvain.be.

Sujet : *La dynamique des ceintures de radiations de Van Allen*

Brève description :

Le but de ce mémoire est d'étudier la dynamique des ceintures de radiations de Van Allen c'est-à-dire de déterminer les variations des flux de particules observées dans l'environnement spatial de la Terre durant les orages magnétiques. A partir de mesures de flux effectuées par les satellites GOES, il s'agira d'analyser différents orages et d'en déduire les effets dans les ceintures interne et externe. Les mesures seront comparées aux résultats des modèles statiques empiriques AE8 et AP8 en vue de déterminer la dynamique des ceintures de radiations. L'évaluation des flux de particules de haute énergie est cruciale pour les satellites et les missions habitées car ces particules de haute énergie peuvent endommager certains composants électroniques et sont dangereuses pour la santé des astronautes. Les variations de flux peuvent atteindre plusieurs ordres de magnitude. Il s'agira de déterminer les paramètres solaire (vitesse du vent solaire, densité, pression, température, champ magnétique...) et géomagnétique (indice d'activité géomagnétique planétaire, indice d'orage magnétique..) qui influencent les variations de flux en fonction de la distance radiale.



Année académique 2012–2013
Proposition de travail de fin d'études de second cycle

Promoteur : Viviane PIERRARD, Unité ASTR, Bâtiment Marc de Hemptinne, Louvain-la-Neuve, tél. : 02/373.03.65, courriel : viviane.pierrard@uclouvain.be.

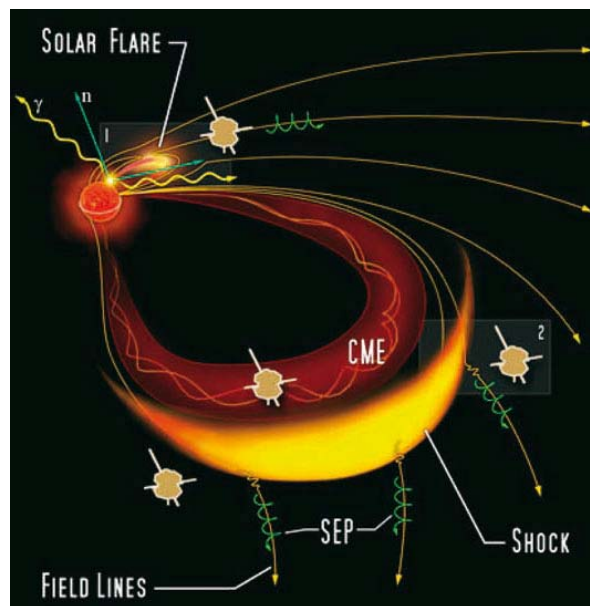
Sujet : *Etude des événements à particules solaires énergétiques*

Brève description :

Les événements à particules solaires de haute énergie (SEP pour Solar Energetic Particles en Anglais) sont très problématiques pour les missions spatiales habitées à longue durée en dehors de la protection du champ magnétique terrestre, spécifiquement pour les voyages vers Mars ou la Lune. Ils ont également une influence importante sur l'environnement spatial de la Terre qu'il s'agira d'analyser en détail.

Ces événements sont détectés dans l'espace interplanétaire par des augmentations des flux des électrons, protons et ions lourds avec des énergies qui s'échelonnent de quelques dizaines de keV à plusieurs GeV. Ces événements résultent de l'accélération de particules par des éruptions solaires, des chocs liés à des éjections de masse coronale ou associés à des régions d'interaction en corotation. On distingue conventionnellement deux sortes de SEP : les impulsifs et les graduels. Cette classification est basée sur les différences systématiques observées dans les profils d'intensité, l'abondance des éléments et les échelles de temps associées à l'émission de rayons X.

En analysant les effets du vent solaire lors de tels événements à particules énergétiques et sur plusieurs cycles d'activité solaire, il s'agira de faire le lien entre les observations du vent solaire près de la Terre, les perturbations au niveau de l'activité magnétique terrestre caractérisée par des indices tels que Kp et Dst et les variations de flux dans les ceintures de radiations terrestres. Un modèle prédictif sera développé sur base des événements passés analysés.



Physique du climat

Année académique 2012-2013

Proposition de travail de fin d'études de second cycle

Promoteur : Michel CRUCIFIX, ELIC/TECLIM, Bâtiment Marc de Hemptinne, Louvain-la-Neuve, tél. : 010/47.33.00, courriel : michel.crucifix@uclouvain.be

Chercheur : Pablo ARAYA, Nabila BOUNCEUR

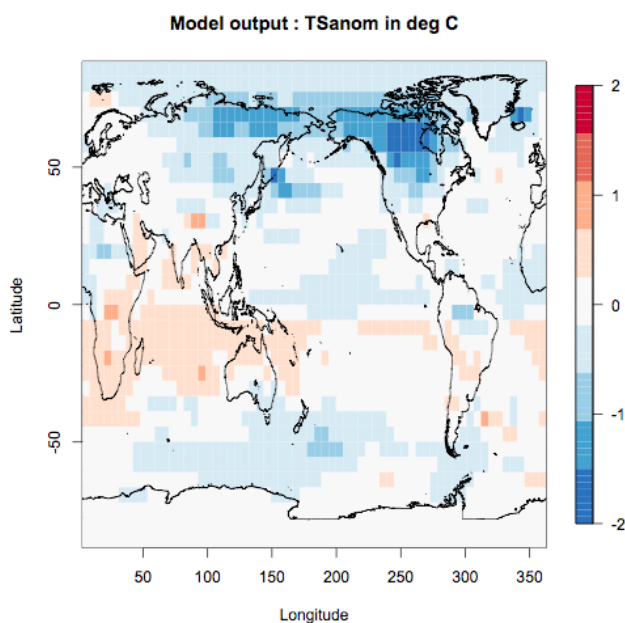
Sujet : *Plan d'expériences du simulateur HadCM3 au forçage astronomique*

Brève description :

Le climat de la Terre est sensible aux faibles variations de la géométrie de l'orbite de la Terre, ainsi qu'aux variations de l'inclinaison de l'équateur sur le plan de l'écliptique. Cette sensibilité peut s'étudier de façon empirique, sur base d'archives naturelles du climat. Elle peut également être abordée au moyen d'un simulateur de climat. Le problème est qu'il existe une infinité de configurations astronomiques possibles, alors que nous ne pouvons nous permettre de réaliser que quelques dizaines d'expériences tout au plus au moyen de ces simulateurs coûteux. Il s'agit donc de bien choisir les expériences et d'établir le modèle statistique qui va nous permettre d'interpoler la réponse du système climatique entre les points d'expériences. Ce sujet fait l'objet d'une thèse de doctorat et d'un stage post-doctoral. Le mémorant sera en relation directe avec les chercheurs.

Le mémoire s'organise autour d'un plan d'expériences réalisées avec un simulateur climatique : HadCM3. L'étudiant se focalisera autour d'une des réponses climatiques du système océan - atmosphère (circulation de l'océan profond, motifs de variabilité atmosphérique ou océanique... à définir)

D'autres projets autour de ce sujet sont également possibles.



Année académique 2012-2013
Proposition de travail de fin d'études de second cycle

Promoteur : Michel CRUCIFIX, ELIC/TECLIM, Bâtiment Marc de Hemptinne, Louvain-la-Neuve, tél. : 010/47.33.00, courriel : michel.crucifix@uclouvain.be
Chercheurs: Guillaume LENOIR et Carlos ALMEIDA

Sujet : *Effets des incertitudes de datation sur l'analyse de signaux paléoclimatiques.*

Brève description :

Les climats anciens sont reconstitués à partir d'archives naturelles, mesurées dans des sédiments marins, glaciaires, spéléothèmes etc. La plupart du temps elles s'obtiennent sous la forme de séries exprimées en fonction de la profondeur du sédiment. Un modèle chronologique est alors appliqué pour estimer l'évolution du marqueur climatique en fonction du temps.

D'autre part, les paléoclimatologues recourent fréquemment à des outils d'analyse de séries temporelles (cf. cours de traitement du signal) pour estimer les caractéristiques dynamiques du climat à des échelles de temps allant de la décade à plusieurs milliers d'années. Les plus connus sont les 'spectrogrammes' (estimation du spectre fréquentiel) mais d'autres outils, plus spécifiques aux systèmes non linéaires, existent également.

Le but de ce mémoire est d'analyser et de quantifier l'effet des incertitudes du modèle chronologique sur l'analyse du signal.

L'étudiant utilisera des données réelles, issues d'enregistrements marins. Le mémoire peut aboutir à confirmer ou réfuter l'adéquation de modèles dynamiques des paléoclimats en fonction de ces données. En fonction du profil et des intérêts de l'étudiant, le mémoire peut inclure une composante plus ou moins appuyée de statistiques appliquées.

Année académique 2012–2013

Proposition de travail de fin d'études de second cycle

Promoteur : Thierry FICHEFET, ELI/TECLIM, Bâtiment Marc de Hemptinne, Louvain-la-Neuve,
tél. : 010/47.32.95, courriel : thierry.fichet@uclouvain.be.

Chercheurs : François MASSONNET, ELI/TECLIM, Bâtiment Marc de Hemptinne, Louvain-la-Neuve, tél : 010/47.26.76, courriel : francois.massonnet@uclouvain.be.
Antoine BARTHELEMY, ELI/TECLIM, Bâtiment Marc de Hemptinne, Louvain-la-Neuve,
tél : 010/47.32.70, courriel : antoine.barthelemy@uclouvain.be

Sujet : *Sensibilité de la circulation océanique polaire à la représentation de la glace de mer dans un modèle numérique.*

Brève description :

Les propriétés des océans Arctique et Antarctique dépendent fortement des processus liés à la glace de mer (ou banquise). Par exemple, les flux de salinité et d'eau douce qui sont respectivement associés à la formation et à la fonte de la banquise altèrent profondément la densité des eaux superficielles et affectent la stratification de l'océan sous-jacent. Des rétroactions impliquant la glace de mer sont dès lors possibles. Cependant, de par la difficulté d'accès à ces régions, la compréhension de ces processus – et en particulier de leur sensibilité – s'appuie en grande partie sur des études de modélisation. Le Centre de recherche sur la Terre et le climat Georges Lemaître (TECLIM) de l'UCL et le Laboratoire d'Océanographie et du Climat (LOCEAN) de Paris maintiennent et développent, depuis près de quinze ans, un modèle numérique tridimensionnel couplant l'océan et la glace de mer (NEMO-LIM ; www.elic.ucl.ac.be/lim). Ce modèle a acquis une renommée internationale et est couramment utilisé par de nombreux instituts et centres de recherche. Sa composante cryosphérique a récemment été améliorée, de façon à prendre en compte davantage de processus de façon plus réaliste. Dans ce travail de fin d'études, on se propose : (1) d'examiner quantitativement l'impact de différentes représentations de la banquise sur la circulation et les caractéristiques des océans polaires dans le modèle NEMO-LIM (courants marins, profondeur de la couche mélangée océanique, convection, profils verticaux de température et de salinité, flux de chaleur et d'eau douce à travers des sections prédéfinies, ...), (2) d'interpréter ces résultats en termes de processus physiques, (3) de comparer les résultats en Arctique et en Antarctique, et (4) d'évaluer les performances de chaque version du modèle par rapport aux observations disponibles. Selon l'avancement du mémoire, d'autres tests de sensibilité sont envisageables.



Année académique 2012–2013
Proposition de travail de fin d'études de second cycle

Promoteur : Thierry FICHEFET, ELI/TECLIM, Bâtiment Marc de Hemptinne, Louvain-la-Neuve, tél. : 010/47.32.95, courriel : thierry.fichefet@uclouvain.be.

Chercheur : François MASSONNET, ELI/TECLIM, Bâtiment Marc de Hemptinne, Louvain-la-Neuve, tél. : 010/47.26.76, courriel : francois.massonnet@uclouvain.be.

Sujet : *Quel est l'impact de la complexification de la représentation de la glace de mer dans les modèles de circulation générale du climat sur la simulation des banquises arctique et antarctique.*

Brève description :

Les modèles de circulation générale du climat (MCGC) comptent parmi les outils les plus adaptés pour comprendre et prévoir l'évolution du climat sur des échelles de temps allant de l'année au siècle. Ces modèles sont en permanence adaptés, raffinés et complexifiés. Ils incluent davantage de processus, leurs équations sont résolues sur des grilles plus fines, ils sont initialisés grâce à des méthodes plus avancées, ... Mais ces « améliorations » donnent-elles nécessairement de meilleurs résultats ? Dans ce mémoire, on tentera de répondre partiellement à cette vaste question en se concentrant sur les océans Arctique et Antarctique, et plus précisément sur la glace de mer (ou banquise) qui les recouvre. La glace de mer est un agent important du système climatique : elle est impliquée dans de nombreuses rétroactions avec l'atmosphère et l'océan, et tempère les transferts d'énergie mécanique, de chaleur et de matière entre ces deux milieux. Une représentation correcte de la glace de mer dans les MCGC apparaît dès lors essentielle pour bâtir des prédictions/projections fiables au cours du siècle à venir, non seulement dans les régions polaires mais également à des latitudes plus basses. En pratique, l'étudiant(e) analysera avec rigueur les caractéristiques de la glace de mer simulées par une vingtaine de MCGC au cours des dernières 30 années (pour lesquelles on dispose également de diverses observations). Il (elle) testera, au moyen d'une métrique appropriée, l'hypothèse selon laquelle une représentation plus avancée de la physique de la glace de mer va de pair avec une meilleure « performance » (ce terme étant à définir a priori). Enfin, il (elle) interprétera ses conclusions en détaillant les mécanismes physiques contribuant ou non à l'amélioration des modèles.



Année académique 2012–2013

Proposition de travail de fin d'études de second cycle

Promoteurs : Thierry FICHEFET, ELI/TECLIM, Bâtiment Marc de Hemptinne, Louvain-la-Neuve, tél. : 010/47.32.95, courriel : thierry.fichet@uclouvain.be.

Chercheur : Olivier LECOMTE, ELI/TECLIM, Bâtiment Marc de Hemptinne, Louvain-la-Neuve, tél. : 010/47.30.64, courriel : olivier.lecomte@uclouvain.be.

Sujet : *Origines des différences entre les régimes de fonte de surface de la glace de mer arctique et antarctique.*

Brève description :

La glace de mer (ou banquise) qui recouvre partiellement les océans Arctique et Antarctique est une composante clé du système climatique. Son albédo élevé (réflectivité dans le domaine visible), comparé à celui de l'océan, divise par trois la quantité d'énergie solaire absorbée en surface. Cette caractéristique contribue de manière déterminante à la boucle de rétroaction albédo-température, qui amplifie toute variation climatique dans les régions polaires. L'albédo d'un milieu est intrinsèquement lié à l'état de sa surface. Or, l'état de surface de la banquise est très hétérogène dans l'espace et très variable dans le temps. La glace peut en effet être libre, enneigée, en cours de fonte ou de regel, ou encore recouverte de flaques d'eau qui sont le résultat d'une fonte partielle de la glace et éventuellement de la fonte totale de la neige qui la recouvrait antérieurement. Ces différents types de surface induisent des variations d'albédo très importantes dans un intervalle de l'ordre de 0,4–0,95. Les mares d'eau de fonte (qui ont donc un albédo beaucoup plus faible que la neige ou la glace) sont beaucoup plus présentes en Arctique qu'en Antarctique, et cette différence n'est pas encore clairement expliquée par la communauté scientifique. Dans certaines publications scientifiques, on attribue ce phénomène à une différence d'énergie solaire incidente, causant une fonte de surface plus importante de la glace arctique. Dans d'autres références scientifiques en revanche, ce lien causal est inversé et cette différence d'énergie solaire est elle-même expliquée par la différence d'albédo et donc d'état de surface de la banquise. Il semble également que l'humidité de l'air joue un rôle significatif dans ces processus de fonte dans la mesure où l'évaporation en cas de faible humidité spécifique peut devenir un facteur limitant dans l'accumulation d'eau de fonte. Pour l'heure, il est donc difficile d'établir l'origine réelle de la présence beaucoup plus marquée des mares de fonte dans l'hémisphère Nord. Au cours des dernières années, le Centre de recherche sur la Terre et le climat Georges Lemaître (TECLIM) de l'UCL et le Laboratoire d'océanographie et du climat (LOCEAN) de Paris ont mis au point conjointement un modèle numérique tridimensionnel couplant l'océan et la glace de mer (NEMO-LIM ; www.elic.ucl.ac.be/lim), qui est à présent utilisé dans 27 laboratoires de recherche de par le monde. Nous proposons, dans la cadre de ce travail de fin d'études, d'utiliser ce modèle afin de mener à bien une série de tests visant à expliquer les différences entre les régimes de fonte de surface de la glace de mer arctique et antarctique. Grâce à l'utilisation de deux formalismes différents pour le schéma d'évaporation/sublimation de la neige (l'un d'entre eux sera notamment à développer numériquement dans le modèle), il s'agira en particulier de quantifier la sensibilité de la fonte de surface à la température de l'air et à l'humidité spécifique. Le but final sera d'établir des liens de cause à effet ou des rétroactions entre les paramètres physiques environnants et l'intensité et la fréquence des épisodes de fonte.



Année académique 2012–2013

Proposition de travail de fin d'études de second cycle

Promoteur : Thierry FICHEFET, ELI/TECLIM, Bâtiment Marc de Hemptinne, Louvain-la-Neuve, tél. : 010/47.32.95, courriel : thierry.fichet@uclouvain.be.

Chercheurs : Sylvain BOUILLON, ELI/TECLIM, Bâtiment Marc de Hemptinne, Louvain-la-Neuve, tél. : 010/47.30.67, courriel : sylvain.bouillon@uclouvain.be
Olivier LECOMTE, ELI/TECLIM, Bâtiment Marc de Hemptinne, Louvain-la-Neuve, tél. : 010/47.30.64, courriel : olivier.lecomte@uclouvain.be
Antoine BARTHÉLEMY, ELI/TECLIM, Bâtiment Marc de Hemptinne, Louvain-la-Neuve, tél. : 010/47.32.70, courriel : antoine.barthelemy@uclouvain.be

Sujet : *Introduction et applications d'un diagnostique de la déformation de la glace de mer dans le modèle LIM3.*

Brève description :

La glace de mer (ou banquise) qui se forme à la surface des océans polaires est loin d'être statique. Elle est continuellement mise en mouvement par les vents, et dans une moindre mesure par les courants marins. Dans les zones de convergence, la glace subit des contraintes qui peuvent éventuellement mener à sa déformation, par exemple au chevauchement de glaçons (rafting) ou à la formation de crêtes de compression (ridging). La glace ainsi déformée se distingue clairement, dans son aspect visuel et dans ses propriétés physiques, de la glace plane qui s'est accumulée par congélation sans se déformer. Le Centre de recherche sur la Terre et le climat Georges Lemaître (TECLIM) de l'UCL et le Laboratoire d'Océanographie et du Climat (LOCEAN) de Paris maintiennent et développent, depuis près de quinze ans, un modèle numérique tridimensionnel couplant l'océan et la glace de mer (NEMO-LIM3 ; www.elic.ucl.ac.be/lim). Ce modèle a acquis une renommée internationale et est couramment utilisé par de nombreux instituts et centres de recherche. Il comprend actuellement plusieurs catégories d'épaisseur de glace et représente les effets des phénomènes de rafting et de ridging, mais il ne fait pas la distinction entre glace plane et glace déformée. Les objectifs de ce mémoire sont : (1) d'introduire un nouveau diagnostique permettant de suivre la glace déformée dans le modèle LIM3, en s'inspirant du travail effectué sur le modèle de glace de mer CICE, (2) de le valider en comparant les résultats avec les observations disponibles et/ou des simulations réalisées avec d'autres modèles, et (3) d'étudier les applications possibles de ce nouveau diagnostique. Il s'agira entre autres d'observer l'impact de la glace déformée sur l'accumulation et le transport par le vent de la neige à la surface de la banquise, et de faire varier en fonction de la déformation les coefficients de traînée utilisés dans le calcul des tensions exercées sur la glace par les vents et les courants marins.



Année académique 2012–2013
Proposition de travail de fin d'études de second cycle

Promoteur : Thierry FICHEFET, ELI/TECLIM, Bâtiment Marc de Hemptinne, Louvain-la-Neuve, tél. : 010/47.32.95, courriel : thierry.fichet@uclouvain.be.

Chercheurs : Olivier LECOMTE, ELI/TECLIM, Bâtiment Marc de Hemptinne, Louvain-la-Neuve, tél. : 010/47.30.64, courriel : olivier.lecomte@uclouvain.be.

Sujet : *Importance du transfert radiatif au sein du système neige/glace sur les bilans de masse et d'énergie de la banquise.*

Brève description :

La glace de mer (ou banquise), formée par la congélation de l'eau de mer, recouvre en moyenne 7% des océans terrestres. C'est une composante majeure du climat, suite notamment à son fort pouvoir isolant et réfléchissant ainsi qu'aux rejets de sel et d'eau douce associés à sa formation et à sa fonte. Prévoir les changements futurs de l'état de la glace de mer et des climats polaires repose sur une représentation réaliste des processus physiques ayant cours dans la banquise. A cet effet, LIM (Louvain-la-Neuve Sea-Ice Model ; www.elic.ucl.ac.be/lim), un modèle numérique de glace de mer développé au Centre de recherche sur la Terre et le climat Georges Lemaître (TECLIM, UCL) au cours des quinze dernières années, est utilisé dans le cadre des projections du climat afin de déterminer, dans la limite des incertitudes, l'état futur des banquises arctique et antarctique. Le transfert des radiations solaires dans la glace et la neige qui la recouvre est un des éléments clés influençant les bilans de masse et d'énergie de la glace de mer. Récemment, l'implémentation d'une nouvelle formulation de la thermodynamique de la neige dans LIM a permis d'améliorer quelque peu la représentation des processus radiatifs dans le modèle. Les impacts de cette représentation simplifiée du transfert radiatif dans la glace sont cependant mal quantifiés. Dans ce mémoire, on se propose d'étudier l'impact d'une représentation évoluée du transfert radiatif dans la neige et la glace sur les bilans de masse et d'énergie des banquises arctique et antarctique. Pour cela, on utilisera le schéma de transfert radiatif élaboré « Delta Eddington » du modèle de glace de mer américain CICE. Il s'agira donc de : (i) comprendre le fonctionnement de ce schéma radiatif à partir du code et de sa documentation, (ii) coupler ce schéma au modèle LIM, (iii) étudier l'impact de ce schéma sur les bilans de masse et d'énergie de la glace de mer et (iv) comparer ce schéma avec la représentation simplifiée du transfert radiatif déjà présente dans LIM afin d'estimer les performances respectives de chaque algorithme.



Année académique 2012–2013

Proposition de travail de fin d'études de second cycle

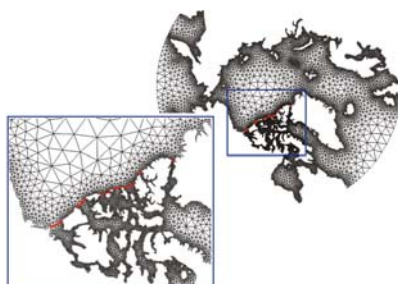
Promoteur : Thierry FICHEFET, ELI/TECLIM, Bâtiment Marc de Hemptinne, Louvain-la-Neuve, tél. : 010/47.32.95, courriel : thierry.fichet@uclouvain.be.
Vincent LEGAT, IMMC/TECLIM, Bâtiment Euler, Louvain-la-Neuve, tél. : 010/47.23.59, courriel : vincent.legat@uclouvain.be.

Chercheur : Sylvain BOUILLON, ELI/TECLIM, Bâtiment Marc de Hemptinne, Louvain-la-Neuve, tél. : 010/47.30.67, courriel : sylvain.bouillon@uclouvain.be.

Sujet : *Développement d'une méthode eulérienne-lagrangienne pour la dynamique de la glace de mer.*

Brève description :

Ce travail de fin d'études s'inscrit dans le cadre du projet SLIM (Second-generation Louvain-la-Neuve Ice-ocean Model, <http://www.climate.be/slim>), dont l'objectif est le développement d'un modèle couplé océan–glace de mer sur grilles non structurées basé sur la méthode des éléments finis. Plus précisément, il concerne la composante glace de mer de SLIM. La glace de mer (ou encore banquise) qui recouvre partiellement les océans Arctique et Antarctique est une composante clé du système climatique. En effet, son albédo élevé (réflectivité dans le domaine visible), comparé à celui de l'océan, divise par trois la quantité d'énergie solaire absorbée en surface. Cette caractéristique contribue de manière déterminante à la boucle de rétroaction positive albédo–température, qui amplifie toute variation climatique dans les régions polaires. En outre, la glace de mer joue un rôle d'isolant entre l'atmosphère et l'océan, limitant ainsi les échanges de chaleur, de matière et de quantité de mouvement entre ces deux milieux. Au vu de ces propriétés, il est primordial de prendre en compte la glace de mer dans les modèles numériques du climat. Dans le cadre de SLIM, un modèle de glace de mer en éléments finis est en cours de développement. Ce modèle comporte deux parties: une composante dynamique, qui calcule la dérive de la glace, ainsi qu'une composante thermodynamique, qui évalue le taux de croissance ou de fonte de la banquise. Deux versions du modèle coexistent actuellement. Une première version, basée sur le formalisme eulérien, utilise une grille fixe pour décrire et calculer les variables du système. Récemment, une version lagrangienne a été mise au point dans laquelle le maillage se déplace avec la dérive de la glace, ce qui nécessite d'adapter le maillage à intervalles réguliers. Ces deux méthodes ont leurs avantages et inconvénients. Ainsi, pour utiliser la méthode lagrangienne, il faut souvent remailler le domaine ce qui coûte cher en temps de calcul alors que la méthode eulérienne simule difficilement les discontinuités. Le but de ce mémoire est d'évaluer l'utilisation de la méthode MPM (*Material-Point Method*), qui combine les avantages des deux approches. Cette méthode résout l'équation de conservation de la quantité de mouvement sur une grille fixe, tandis que masse, position, vitesse, contraintes et autres paramètres matériels sont associés à un ensemble de points matériels. L'utilisation d'une grille fixe permettrait en outre l'application de cette méthode au modèle LIM qui est la version en différences finies du modèle de glace SLIM et qui est largement utilisé pour les simulations du climat. Pour mener à bien cette étude, l'étudiant(e) devra se familiariser avec l'environnement Linux et le langage C++. Une bonne connaissance des méthodes numériques (en particulier la méthode des éléments finis) est un pré-requis souhaitable.



Année académique 2012 – 2013
Proposition de travail de fin d'études de second cycle

Co-promoteurs : Hugues Goosse, ELIC, Bâtiment de Hemptinne, Louvain-la-Neuve, tél: 010/473298 ou 010/473297, e-mail: hugues.goosse@uclouvain.be

Elie Verleyen, Protistology and Aquatic Ecology, Ghent University,
Elie.verleyen@ugent.be

Sujet: *Modélisation de la glace présente à la surface des lacs antarctiques.*

Brève description:

Bien que la plus grande partie du continent antarctique soit recouvert par la calotte de glace, on peut aussi y trouver des lacs, principalement le long de la côte et dans certaines vallées appelées 'dry valleys' à cause de leur faible couverture de neige. La production biologique de ces lacs antarctiques est très sensible aux conditions environnementales, notamment à la durée de la période durant laquelle ils sont libres de glace. On peut reconstruire cette activité biologique à partir des sédiments déposés au fond des lacs et en déduire des informations essentielles sur les changements climatiques qui ont eu lieu sur des échelles de temps allant de la décennie à plusieurs milliers d'années. Cependant, pour analyser les signaux enregistrés dans les sédiments, il est impératif de comprendre en détail comment la couverture de glace en surface répond aux changements climatiques.

Pour ce faire, un modèle unidimensionnel de la glace de lac sera développé dans ce mémoire à partir du modèle de glace de mer LIM1D (<http://www.elic.ucl.ac.be/lim/>). Ce modèle sera testé dans les conditions correspondant à celles de plusieurs lac antarctiques pour lesquels des observations sont disponibles. La réponse du modèle à des changements climatiques, tels que ceux observés dans le passé récent (dernier millénaire, début de l'Holocène il y a 9000 ans) et ceux projetés pour les prochains siècles, sera ensuite analysée.



Photo du lac Bonnie,
Taylor Valley, par Hubert
Staudigel (source
earthref.org)

Année académique 2012 – 2013
Proposition de travail de fin d'études de second cycle

Promoteur : Hugues Goosse, ELIC, Bâtiment de Hemptinne, Louvain-la-Neuve, tél: 010/473298 ou 010/473297, e-mail: hugues.goosse@uclouvain.be

Sujet: *Analyse des changements d'étendue de glace de mer simulés par différents modèles pour des conditions correspondant au milieu de l'Holocène (6000 BP).*

Brève description:

Au milieu de l'Holocène, il y a 6000 ans, les radiations solaires reçues en été dans l'Arctique étaient plus élevées de environ 30 W m^{-2} par rapport aux conditions actuelles. La glace de mer était donc moins étendue et sans doute plus fine en été. En conséquence, le milieu de l'Holocène constitue un test intéressant pour les modèles climatiques afin d'évaluer leur réponse à une perturbation radiative et donc la fiabilité des projections réalisées avec ces modèles pour les siècles à venir.

Le but de ce mémoire est de déterminer les caractéristiques de la glace de mer simulées pour cette période par différents modèles dans la cadre du projet PMIP3 (Paleoclimate Model Intercomparison Project, <http://pmip3.lsce.ipsl.fr/>) et de les comparer aux reconstructions existantes. Cela permettra d'analyser la vraisemblance de chacun de ces modèles et les mécanismes influençant les changements dans l'étendue de la glace de mer.



Année académique 2012 – 2013
Proposition de travail de fin d'études de second cycle

Co-promoteurs : Hugues Goosse, ELIC, Bâtiment de Hemptinne, Louvain-la-Neuve, tél: 010/473298 ou 010/473297, e-mail: hugues.goosse@uclouvain.be

Suz Tolwinski-Ward, University of Arizona, e-mail: tolwinski@math.arizona.edu

Sujet: *Estimation de l'influence du climat sur la croissance des arbres au cours du dernier millénaire.*

Brève description:

Pour étudier le climat du dernier millénaire, nous disposons de diverses archives indirectes provenant, par exemple, de carottes de glace, de carottes lacustres ou marines ou des cernes d'arbres. Ces dernières peuvent fournir des informations précieuses sur la température et/ou l'humidité, suivant les facteurs limitant la croissance des arbres dans la région considérée. A partir des caractéristiques de ces cernes, on peut donc reconstruire les conditions régnant lors de la leur formation. Ces reconstructions locales ou régionales peuvent alors entrer dans des synthèses à plus grande échelle ou être comparées à des résultats de modèles climatiques afin de valider ceux-ci. Cependant, des conditions climatiques différentes peuvent mener à des caractéristiques des cernes similaires, rendant cette inversion du signal climatique enregistré par les arbres non-univoque.

Le but de ce mémoire est de confronter l'approche impliquant une comparaison des températures reconstruites à partir de cernes d'arbres avec celles d'un modèle climatique à une autre plus directe. Celle-ci consiste à utiliser un modèle de croissance des arbres forcé par les résultats du modèle climatique et de comparer les cernes reconstruites à celles observées. Une attention particulière sera portée à la réponse non-linéaire des arbres aux conditions climatiques ainsi qu'aux implications de la différence d'échelle entre les mailles relativement grossières des modèles climatiques et la résolution spatiale plus élevée fournie par les observations.



La taille et la densité des cernes d'arbres fournissent des indications sur les variations passées du climat. (photo © H.D. Grissino-Mayer)

Sujets de Mémoires présentés par Eric Deleersnijder

Eric Deleersnijder <http://www.ericd.be>

Centre for Systems Engineering and Applied Mechanics (CESAME)

Louvain School of Engineering

Université catholique de Louvain

4 Avenue G. Lemaître (Euler building, Office a.113)

B-1348 Louvain-la-Neuve, Belgium

Tel: +32-(0)10.47.23.63 or +32-(0)10.47.23.50

Fax: +32-(0)10.47.21.80

Mobile phone: +32-(0)493.248.829

E-mail: eric.deleersnijder@uclouvain.be

Année académique 2012–2013

Proposition de travail de fin d'études de second cycle

Promoteurs: *Emmanuel Hanert*, UCL, Earth and Life Institute (ELI), Tél.: 010.47.26.20,
emmanuel.hanert@uclouvain.be, www.uclouvain.be/emmanuel.hanert
*Eric Deleersnijder*¹, UCL, Institute of Mechanics, Materials and Civil Engineering
(iMMC) & Earth and Life Institute (ELI), Tél.: 010.47.23.63,
eric.deleersnijder@uclouvain.be, www.ericd.be

Sujet: *Les épidémies de choléra : Modélisation et application à Haïti et en RDC*

Brève description:

Le choléra est une infection intestinale aiguë due à l'ingestion d'eau ou d'aliments contaminés par le bacille *Vibrio cholerae*. Ce dernier produit une entérotoxine entraînant des diarrhées pouvant aboutir rapidement à une déshydratation sévère et à la mort en l'absence de traitement. Le caractère explosif que peuvent prendre les épidémies de choléra provient en partie de la faible période d'incubation qui se situe entre deux heures à cinq jours. La dernière grande épidémie de choléra a eu lieu en 2010-2011 à Haïti suite au séisme qui a ravagé le pays. Dans d'autres régions, comme dans l'Est de la RDC, le choléra est endémique et donne lieu, à intervalles réguliers, à des épidémies.

Le but de ce mémoire est de développer une approche de modélisation robuste permettant de représenter la dynamique spatiale de la maladie dans diverses régions. Ce mémoire s'appuiera sur un précédent mémoire qui a permis le développement d'un modèle simple de l'épidémie de choléra qui a touché Haïti. Ce modèle s'appuie sur une discrétisation de l'espace par un réseau reprenant les districts administratifs d'Haïti. Nous chercherons à évaluer la pertinence d'un tel réseau et à proposer d'autres réseaux plus à même de décrire la dynamique spatiale de la maladie. Les données disponibles pour Haïti nous permettront de valider ces approches. Le modèle sera par la suite appliqué dans l'Est RDC afin de simuler la dynamique saisonnière du choléra dans les régions proches du Lac Tanganyika.

Bibliographie:

Bertuzzo, E., Mari, L., Righetto, L., Gatto, M., Casagrandi, R., Blokesch, M., Rodriguez-Iturbe, I., and Rinaldo, A. (2011) Prediction of the spatial evolution and effects of control measures for the unfolding Haiti cholera outbreak. *Geophysical Research Letters*, 38, L06403.
Codeço, C. (2001) Endemic and epidemic dynamics of cholera: The role of the aquatic reservoir. *BMC Infectious Diseases*, 1, 1-14.
Wolter, J. (2011) Modélisation épidémiologique spatio-temporelle sur réseaux: Application au choléra à Haïti. Mémoire de fin d'études, Université catholique de Louvain.
http://www.africamuseum.be/project_docs/CHOLTIC.pdf

¹ Tous les sujets de mémoire (co-)proposés par E. Deleersnijder peuvent être consultés dans la rubrique "For Students" de sa page personnelle (www.climate.be/users/ericd/)

Année académique 2012–2013
Proposition de travail de fin d'études de second cycle

Promoteurs: *Emmanuel Hanert*, UCL, Earth and Life Institute (ELI), Tél.: 010.47.26.20,
emmanuel.hanert@uclouvain.be, www.uclouvain.be/emmanuel.hanert
*Eric Deleersnijder*², UCL, Institute of Mechanics, Materials and Civil Engineering
(iMMC) & Earth and Life Institute (ELI), Tél.: 010.47.23.63,
eric.deleersnijder@uclouvain.be, www.ericd.be

Sujet: *Diffusion fractionnaire et Lévy flights : de la dispersion du pollen transgénique aux krachs boursiers...*

Brève description:

Il apparaît de plus en plus clairement que les processus de transport dans des systèmes complexes ne suivent pas toujours les lois classiques de la diffusion. Dans certains cas, on observe une dispersion plus rapide que prédite par les modèles usuels alors que dans d'autres cas elle peut être plus lente. On parlera respectivement de *superdiffusion* et de *subdiffusion*. La première s'observe lorsque les déplacements des particules peuvent être anormalement grands. Ces déplacements, appelés *Lévy flights*, donnent lieu à une dynamique non Gaussienne et une dispersion plus rapide. Dans le cas de la *subdiffusion*, les temps d'attente entre 2 déplacements peuvent être anormalement long. Cela donne lieu à une dynamique non Markovienne et une dispersion plus lente.

D'un point de vue macroscopique, on peut généraliser l'équation classique de diffusion d'ordre 2 pour prendre en compte une dynamique non Gaussienne et non Markovienne. On obtient ainsi une équation de diffusion d'ordre fractionnaire dans le temps et dans l'espace. Contrairement aux dérivées entières, les dérivées fractionnaires sont des opérateurs mathématiques globaux qui font intervenir l'intégrale de la grandeur étudiée. Leur discrétisation numérique requiert l'utilisation de schémas numériques spécifiques.

Les modèles de diffusion fractionnaire sont l'objet d'un intérêt croissant car ils permettent une représentation plus réaliste de systèmes complexes. En écologie, ces modèles donnent une meilleure image de la dispersion d'espèces vivantes dans leur recherche de nourriture et peuvent, par exemple, être utilisés pour réévaluer le risque de dispersion de pollen OGM par des abeilles. En finance, ces modèles ne sous-estiment pas la volatilité présente sur les marchés financiers et permettent d'intégrer le risque associé aux krachs boursiers.

Le but de ce mémoire sera d'étudier l'application des modèles de diffusion fractionnaire à une problématique particulière décidée par le/la mémorante en fonction de ses intérêts. En plus des applications mentionnées ci-dessus, il en existe beaucoup d'autres dans des domaines aussi variés que l'hydrologie souterraine, l'épidémiologie ou encore la pharmacologie.

Bibliographie

- Hanert E., 2010, A comparison of three Eulerian numerical methods for fractional-order transport models, *Environmental Fluid Mechanics*, 10, 7-20.
Hanert E., 2011, On the numerical solution of space–time fractional diffusion models, *Computers and Fluids*, 46, 33-39.
Hanert E., E. Schumacher and E. Deleersnijder, Front dynamics in fractional-order epidemic models, *Journal of Theoretical Biology*, 279, 9-16.

² Tous les sujets de mémoire (co-)proposés par E. Deleersnijder peuvent être consultés dans la rubrique "For Students" de sa page personnelle (www.climate.be/users/ericd/)

Année académique 2012–2013

Proposition de travail de fin d'études de second cycle

Promoteurs: *Véronique Dehant*, Observatoire Royal de Belgique & UCL,
Tél.: 023.73.02.66, v.dehant@oma.be
Özgür Karatekin, Observatoire Royal de Belgique & UCL,
Tél.: 023.73.02.66, v.dehant@oma.be
*Eric Deleersnijder*³, UCL, Institute of Mechanics, Materials and Civil Engineering
(iMMC) & Earth and Life Institute (ELI), Tél.: 010.47.23.63,
eric.deleersnijder@uclouvain.be, www.ericd.be

Sujet: *Dynamique des océans des lunes de glace du système solaire, en particulier Titan*

Brève description:



La mission Cassini Solstice a pour but d'observer les changements saisonniers et temporels dans le système de Saturne. Elle fournit une excellente occasion d'étudier les saisons sur Titan. Les données de Cassini (sondes, voir ci-dessus) va couvrir jusqu'à un an et demi de Titan et peut être utilisée pour étudier les variations saisonnières et temporelles dans l'atmosphère, des mers et des lacs de surface. La Terre et Mars sont les seuls autres objets du système solaire où nous avons des observations détaillées des variations saisonnières des températures de surface, la pression atmosphérique, les vents, l'évaporation des gaz atmosphériques et des marées.

La sonde Cassini a révélé un vaste ensemble de lacs / mers (voir image de droite) remplis ou partiellement remplis d'hydrocarbures liquides et bassins lacustres vides dans les hautes latitudes de Titan. Les lacs apparaissent dans différentes formes et tailles et sont remplis avec des hydrocarbures liquides, principalement du méthane et éthane. Les données provenant d'instruments de Cassini-Huygens indiquent qu'un cycle existe sur Titan avec le méthane jouant un rôle sur Titan similaire à celui de l'eau dans le cycle hydrologique de la Terre et le cycle saisonnier du CO₂ sur la planète Mars. En plus de variations saisonnières, la différence observée dans la distribution du lac peut être causée par des phénomènes similaires à longue période cycles glaciaires de la Terre causé par une asymétrie dans les saisons sur Titan.

Récemment, la sonde Cassini a fourni des observations suggérant pour la première fois des variations temporelles des surfaces des lacs. La variation des rivages peut être expliquée par différentes hypothèses, y compris l'évaporation et marées. Par ailleurs, d'autres effets tels que la bathymétrie variable, les pentes du littoral, les vents et les déformations verticales du fond des lacs suivants les marées solides peuvent modifier considérablement les estimations théoriques.

³ Tous les sujets de mémoire (co-)proposés par E. Deleersnijder peuvent être consultés dans la rubrique "For Students" de sa page personnelle (www.climate.be/users/ericd/)

Nous proposons d'étudier la réponse en fonction du temps des couches fluides de Titan (mers, lacs et océans souterrains putatifs) aux forces de marée de Saturne. Nous proposons de modéliser la réponse de marée de lacs de surface / océans ainsi que le possible océan de sous-surface au moyen d'un modèle numérique d'eau peu profonde. Le code numérique a déjà été utilisé avec succès pour calculer la réponse de marée pour plusieurs applications sur la Terre et Europa (www.climate.be/slim). Les simulations peuvent prendre en compte plusieurs paramètres tels que les vents de surface, la viscosité et la bathymétrie variable. Le code peut être couplé aux marées du corps solide en dessous du lac. La recherche proposée permettra de modéliser les variations observées des rives des lacs / mer de surface et de séparer les effets de marées et l'évaporation.

Année académique 2012–2013

Proposition de travail de fin d'études de second cycle

Promoteurs: *Eric Deleersnijder*⁴, UCL, Institute of Mechanics, Materials and Civil Engineering (iMMC) & Earth and Life Institute (ELI), Tél.: 010.47.23.63, eric.deleersnijder@uclouvain.be, www.ericd.be

Sophie Vanwambeke, UCL, Earth and Life Institute (ELI), Tél: 010.47.28.71, sophie.vanwambeke@uclouvain.be, www.uclouvain.be/206246.html

Thierry Van Effelterre, GlaxoSmithKline Biologicals, Wavre, Thierry.Van-Effelterre@gskbio.com, www.gsk-bio.com

Sujet: *Aspects spatiaux dans la modélisation mathématique des maladies infectieuses*

Brève description:

La compréhension de la dissémination spatiale des maladies infectieuses est un problème de grande importance pour la santé publique, et sa modélisation est un domaine de recherche très actif, en particulier pour l'évaluation de stratégies de contrôle et/ou d'élimination. Différentes méthodes mathématiques sont appliquées pour les aspects spatiaux, et peuvent suivre une approche déterministe (utilisation d'équations différentielles ordinaires ou aux dérivées partielles) ou stochastique (modèles de réseaux, modèles de Markov, équations différentielles stochastiques, etc.). En particulier, l'application des modèles de réseaux et la compréhension que ces modèles apportent concernant l'importance de l'hétérogénéité des contacts entre individus (de nature spatiale et/ou sociale) pour la propagation des maladies infectieuses est un domaine de recherche très actif. Un aspect important en épidémiologie est la représentation:

- de l'histoire naturelle de la maladie, c'est-à-dire des différents états par lesquels les sujets peuvent passer (susceptible, infectieux, immunisé, etc.) et des transitions entre ces états;
- des mécanismes de transmission de l'infection entre individus, qui dépendent d'aspects socio-démographiques et biologiques.

Le mémoire se focalisera sur la représentation de l'évolution temporelle et de la variabilité spatiale d'une maladie que l'on déterminera en fonction des données épidémiologiques disponibles et des intérêts du mémorant. On tiendra compte des résultats obtenus dans d'autres mémoires — achevés ou en cours — qui ont abordé la grippe A/H1N1 en Belgique, le rotavirus en Allemagne, le choléra en Haïti et la transmission d'une maladie dans un réseau.

Bibliographie:

Hethcote H.W., 2000, The mathematics of infectious diseases, *SIAM Review*, 42, 599-653

Bansal S. et al, 2007, When individual behaviour matters: homogeneous and network models in epidemiology, *Journal of the Royal Society Interface*, 4, 879-891

⁴ Tous les sujets de mémoire (co-)proposés par E. Deleersnijder peuvent être consultés dans la rubrique "For Students" de sa page personnelle (www.climate.be/users/ericd/)

Année académique 2012–2013

Proposition de travail de fin d'études de second cycle

Promoteurs: *Eric Deleersnijder*⁵, UCL, Institute of Mechanics, Materials and Civil Engineering (iMMC) & Earth and Life Institute (ELI), Tél.: 010.47.23.63, eric.deleersnijder@uclouvain.be, www.ericd.be

Anouk de Brauwere, UCL, Institute of Mechanics, Materials and Civil Engineering (iMMC), Tél.: 010.47.80.26, anouk.debrauwere@uclouvain.be, www.uclouvain.be/anouk.debrauwere

Sujet: *Modélisation écologique de l'estuaire de l'Escaut*

Brève description:

Un estuaire est un monde intermédiaire entre le bassin fluvial et la mer. Il reçoit de la matière en provenance du continent, la transforme et la transmet au système marin. Les processus estuariens vont donc fortement influencer la qualité de l'eau côtière. C'est pourquoi il est important et intéressant de bien comprendre ces processus. On propose ici d'étudier plus spécifiquement les processus qui déterminent la quantité de nutriments (NH₄, NO₃, Si, PO₄, etc) et d'oxygène dissous qui sortira de l'estuaire.

Différents modèles écologiques ont déjà été proposés, allant de très simple (quelques équations) (Vanderborgh et al. 2007) à très compliqué (plusieurs dizaines d'équations). Le but de ce mémoire est d'implémenter un des modèles simples pour l'estuaire de l'Escaut. Dans un premier temps, l'estuaire sera représenté comme une boîte bien mélangée, ce qui réduira la dimension du problème. Cette phase servira à familiariser l'étudiant avec le problème et les équations écologiques. Ensuite, le modèle écologique sera intégré dans la version bi-dimensionnelle de SLIM (www.climate.be/slim). Ceci devrait rendre possible la simulation spatio-temporelle des nutriments dans l'estuaire, valeurs qui peuvent être ensuite comparées avec les données existantes pour calibrer certains paramètres du modèle. Finalement, l'étudiant pourra aussi implémenter des modèles écologiques différents et comparer leur capacité à reproduire les observations, pour finalement déterminer le "meilleur" modèle écologique pour l'estuaire de l'Escaut.

Au terme du mémoire, l'étudiant aura acquis des connaissances en modélisation écologique, et aura appris à se familiariser avec un modèle développé dans le langage C++.

Bibliographie:

- Vanderborgh J.-P., I.M. Folmer, D.R. Aguilera, T. Uhrenholdt and P. Regnier, 2007, Reactive-transport modelling of C, N, and O₂ in a river-estuarine-coastal zone system: Application to the Scheldt estuary, *Marine Chemistry*, 106, 92-110
- Thieu V., G. Billen and J. Garnier, 2009, Nutrient transfer in three contrasting NW European watersheds: The Seine, Somme and Scheldt Rivers. A comparative application of the Seneque/Riverstrahler model, *Water Research*, 43, 1740-1754

⁵ Tous les sujets de mémoire (co-)proposés par E. Deleersnijder peuvent être consultés dans la rubrique "For Students" de sa page personnelle (www.climate.be/users/ericd/)

Année académique 2012–2013

Proposition de travail de fin d'études de second cycle

Promoteurs: *Eric Deleersnijder*⁶, UCL, Institute of Mechanics, Materials and Civil Engineering (iMMC) & Earth and Life Institute (ELI), Tél.: 010.47.23.63, eric.deleersnijder@uclouvain.be, www.ericd.be

Anouk de Brauwere, UCL, Institute of Mechanics, Materials and Civil Engineering (iMMC), Tél.: 010.47.80.26, anouk.debrauwere@uclouvain.be

Sujet: *Modélisation des métaux lourds dans l'estuaire de l'Escaut*

Brève description:

Le développement industriel sur les bords de l'Escaut, notamment dans la région du port d'Anvers, a fait de ce fleuve un des plus pollués d'Europe. Dans ce mémoire, on se propose d'étudier dans la région susmentionnée la pollution due aux métaux lourds.

Les métaux lourds peuvent se trouver sous deux formes différentes dans la colonne d'eau. Certains se trouvent directement en suspension dans l'eau, tandis que d'autres sont attachés à des particules sédimentaires. Ces dernières résident la plupart du temps au fond du fleuve. Même si un gros effort a été consenti pour diminuer la pollution du fleuve ces dernières années, une grande quantité de métaux lourds se retrouve en suspension lors des événements d'importante érosion du fond du fleuve. Cela constitue aujourd'hui encore un réel problème écologique.

Le but de ce mémoire est d'étudier la dynamique des métaux lourds au sein de l'estuaire de l'Escaut. Dans un premier temps, cela se fera à l'aide d'un modèle simple à zéro dimension, afin que l'étudiant puisse se familiariser avec le problème. Cette étude se poursuivra à l'aide de la version bi-dimensionnelle de SLIM (www.climate.be/slim). Ceci devrait rendre possible la simulation spatio-temporelle de la concentration d'un métal lourd dans l'estuaire, dont les valeurs seront ensuite comparées avec les données existantes pour calibrer certains paramètres du modèle. Finalement, l'étudiant pourra proposer une stratégie pour les échantillonnages futurs en vue de récolter des données permettant d'estimer de façon optimale les paramètres incertains du modèle.

Au terme du mémoire, l'étudiant aura acquis des connaissances en modélisation de la pollution aquatique, et aura appris à se familiariser avec un modèle développé dans le langage C++.

⁶ Tous les sujets de mémoire (co-)proposés par E. Deleersnijder peuvent être consultés dans la rubrique "For Students" de sa page personnelle (www.climate.be/users/ericd/)

Année académique 2012-2013

Proposition de travail de fin d'études de second cycle

Promoteurs: *Eric Deleersnijder*⁷, UCL, Institute of Mechanics, Materials and Civil Engineering (iMMC) & Earth and Life Institute (ELI), Tél.: 010.47.23.63, eric.deleersnijder@uclouvain.be, www.ericd.be

Sujet: *Stabilité des fermetures turbulentes*

Brève description:

Pour modéliser les écoulements atmosphériques et océaniques, il est généralement nécessaire de paramétriser des flux turbulents de quantité de mouvement ou de variables scalaires. On adopte souvent une paramétrisation de type Fourier-Fick, qui comprend une diffusivité turbulente appropriée. On peut évaluer celle-ci à l'aide d'une grande variété de modèles. Le plus simple consiste à choisir une valeur constante. On peut aussi considérer les diffusivités turbulentes comme des fonctions du nombre de Richardson. Finalement, il existe des approches plus complexes, qui exigent l'introduction de variables additionnelles obéissant à des équations aux dérivées partielles.

Certaines fermetures turbulentes produisent des diffusivités turbulentes qui oscillent dans l'espace d'une façon inacceptable (Deleersnijder and Luyten 1994). Aujourd'hui, il semble clair que ces oscillations sont dues à une instabilité inhérente au modèle mathématique. Deleersnijder et al. (2008) ont proposé une méthode multi-échelles visant à analyser la stabilité des équations concernées. Toutefois, cette méthode ne peut être appliquée en l'état aux schémas numériques employés pour résoudre ces équations. Il faut donc trouver un moyen de la transposer à des schémas numériques tout en conservant sa simplicité relative. Accomplir des pas dans cette direction est l'objectif de ce mémoire.

L'étudiant(e) qui choisit ce mémoire doit montrer un intérêt particulier pour la physique mathématique et/ou les mathématiques appliquées.

Bibliographie:

- Deleersnijder E., E. Hanert, H. Burchard and H.A. Dijkstra, 2008, On the mathematical stability of stratified flow models with local turbulence closure schemes, *Ocean Dynamics*, 58, 237-246
- Deleersnijder E. and P.J. Luyten, 1994, On the practical advantages of the quasi-equilibrium version of the Mellor and Yamada level 2.5 turbulence closure applied to marine modelling, *Applied Mathematical Modelling*, 18, 281-287

⁷ Tous les sujets de mémoire (co-)proposés par E. Deleersnijder peuvent être consultés dans la rubrique "For Students" de sa page personnelle (www.climate.be/users/ericd/)

Année académique 2012–2013

Proposition de travail de fin d'études de second cycle

Promoteurs: *Eric Deleersnijder*⁸, UCL, Institute of Mechanics, Materials and Civil Engineering (iMMC) & Earth and Life Institute (ELI), Tél.: 010.47.23.63, eric.deleersnijder@uclouvain.be, www.ericd.be

Pierre-Denis Plisnier, Musée Royal de l'Afrique Centrale, Tél.: 02.769.54.05, pierre-denis.plisnier@africamuseum.be, www.africamuseum.be

Jaya Naithani, UCL, Institute of Mechanics, Materials and Civil Engineering (iMMC), Tél.: 010.47.80.55, jaya.naithani@uclouvain.be

Sujet: *Conditions hydrodynamiques induisant les efflorescences phytoplanctoniques au lac Tanganyika*

Brève description:

Bien que le lac Tanganyika (1430 m de profondeur max.) soit généralement oligotrophique, des efflorescences (blooms) planctoniques sont régulièrement observées en relation avec les inversions des vents alizés chaque année aux extrémités nord et sud du lac. Il a été suggéré que cela est probablement la conséquence du ré-équilibre de la thermocline/chemocline après le changement de direction des vents. Plusieurs observations antérieures indiquent d'intéressantes oscillations amorties des masses d'eau. Chaque apport d'eau profonde, riche en nutriments, vers la surface est suivi par un important développement phytoplanctonique (parfois observable par télédétection) avec une périodicité d'environ 3 semaines entre les blooms majeurs.

La stabilité de la colonne d'eau et les mouvements des masses d'eau au moment des blooms planctoniques n'a pas été décrite en relation avec les observations locales climatiques. Quelle est la relation entre le vent, la stabilité du lac et les mouvements de la thermocline et quelle est la variation interannuelle de ces événements ?

Le réchauffement global et le réchauffement du lac ont-ils un impact sur les blooms phytoplanctoniques (fréquence, amplitude) via un changement des conditions hydrodynamiques ? Plusieurs séries temporelles d'observations sont disponibles pour aborder ces questions.

Cette étude sera particulièrement utile du fait d'un démarrage récent d'un projet interdisciplinaire investiguant les relations possibles entre les blooms planctoniques et les épidémies de choléra dans la région du lac Tanganyika.

Bibliographie:

- Naithani J., P.-D. Plisnier and E. Deleersnijder, 2007. A simple model of the eco-hydrodynamics of the epilimnion of Lake Tanganyika, *Freshwater Biology*, 52, 2087-2100
- Plisnier P.-D., Chitamwebwa D., Mwape L., Tshibangu K., Langenberg V. and E. Coenen, 1999, Limnological annual cycle inferred from physical-chemical fluctuations at three stations of Lake Tanganyika, *Hydrobiologia*, 407, 45-58
- Plisnier P.-D. and Coenen E.C., 2001, Pulsed and dampened annual limnological fluctuations in Lake Tanganyika, in: *The Great Lakes of the World (GLOW): Food-web, health and integrity* (Ed: Munawar M. & Hecky R.) Ecovision World Monograph Series, Leiden, The Netherlands, pp 81-94

⁸ Tous les sujets de mémoire (co-)proposés par E. Deleersnijder peuvent être consultés dans la rubrique "For Students" de sa page personnelle (www.climate.be/users/ericd/)