

Un Centre de Simulation du système Terre à vocation mondiale: présentation et perspectives

Objectif: accompagner avec succès la transition de la société dans une période de changements climatiques rapides et de catastrophes naturelles fréquentes.

La solution aux problèmes qui se posent en météorologie, en sciences du climat et en sciences de l'environnement réside dans le calcul haute performance. La nature ne peut être décrite et calculée avec précision qu'à partir d'équations prenant en compte les interactions complexes et non-linéaires entre les systèmes naturels multiples, c'est-à-dire les rivières, les lacs, les océans, les montagnes, les forêts, les poussières, la pollution, la couverture nuageuse, les glaces, les régions polaires, etc. Ces équations du mouvement sont si interconnectées et dépendantes les unes des autres qu'elles ne peuvent être résolues qu'en prenant en compte tous les aspects de la question à l'aide d'une mémoire puissante et en faisant les calculs simultanément. Alors seulement pourrons-nous répondre aux risques systémiques associés aux catastrophes naturelles et aux changements planétaires.

- Bob Bishop, Fondateur et Président de la Fondation ICES

Alors que le climat qui nous est familier est en train de disparaître, il nous faudra désormais davantage nous appuyer sur des simulations en calcul intensif du système Terre intégré, afin de planifier les futures orientations possibles de notre nouvelle planète.

– Larry Smarr, Fondateur et Directeur de California Institute of Telecommunications and Information Technology

La Fondation ICES: mission et vision

Notre objectif est de créer un *centre de ressources international* consacré à la simulation du *système Terre dynamique dans sa globalité*. Nous avons entrepris de construire un centre opérationnel pour *l'innovation globale et le bien public*, en combinant connaissances scientifiques approfondies, modélisation de pointe, simulation, et technologies de visualisation.



A ces fins, nous proposons:

- 1) d'installer et de mettre à jour continuellement l'un des supercalculateurs les plus rapides au monde;
- 2) d'améliorer les modèles numériques pour les différents sous-systèmes dynamiques naturels de la planète;
- 3) d'assimiler et de synthétiser les jeux de données de partenaires de recherche régionaux et nationaux;
- 4) d'harmoniser les jeux de données de satellites et *in situ* avec les modèles scientifiques de sciences de la Terre;
- 5) de restituer en retour à nos réseaux de partenaires les résultats pertinents de simulations et des visualisations interactives;
- 6) de fournir un soutien aux pays en voie de développement ne disposant pas eux-mêmes des ressources nécessaires;
- 7) de construire un environnement propice à la formation permettant la spécialisation des acteurs de la pensée intégrative en *modélisation de systèmes Terre*.

Table des matières

I. Résumé exécutif.....	1
II. Catastrophes en chaîne.....	2
III. Le moment est venu.....	4
a. Synthèse globale des connaissances.....	4
b. La modélisation et la simulation comme base de collaboration.....	6
c. Les avancées du calcul haute performance.....	7
d. Créer de la valeur à partir de grands ensembles de données.....	8
e. Visualisations 3D: interaction et immersion.....	10
f. Mettre à profit les différents niveaux de puissance de calcul.....	11
IV. Obtenir une représentation complète de la Terre.....	13
a. Influence du système solaire.....	14
b. Prévision et incertitude des événements extrêmes.....	15
V. Le rôle de ICES pour les villes et les biorégions.....	17
a. Sur la voie de la résilience urbaine.....	18
VI. Quelques clients de ICES.....	20
a. Business case de ICES.....	21
b. Le réseau de participants ICES.....	23
c. Former une communauté de spécialistes de la pensée intégrative.....	24
VII. Pourquoi nous avons besoin d'un acteur non-gouvernemental.....	25
a. L'héritage de l'industrie spatiale privée.....	26
b. Notre modèle de partenariat public-privé.....	27
VIII. Comment ICES atteindra la viabilité financière.....	28
IX. Comment aider ICES.....	28
X. Conseil d'administration, comité d'experts, ambassadeur extraordinaire et conseillers.....	29
XI. Sources des illustrations.....	30

Résumé exécutif

En ce 21^{ème} siècle, l'humanité est aux prises avec la plus grande convergence de défis globaux de notre histoire – *la difficulté de vivre en équilibre avec notre Terre affectée par des changements rapides*. A l'heure actuelle, et plus que jamais, alors que la société se doit de relever les défis multiples posés par les changements climatiques, l'appauvrissement des ressources, le développement économique, et la sécurité des populations, des capacités de leadership sont nécessaires pour s'attaquer à bras le corps à la pleine complexité de la Terre et à ses nombreux systèmes couplés.

Les décideurs politiques, les planificateurs au niveau local, les acteurs de l'urgence et les scientifiques ont besoin d'avoir à leur disposition l'aide experte d'un *Centre de Simulation de la Terre capable d'opérer au niveau global* avec des moyens avancés. Un tel centre procurerait une assistance pour l'analyse du climat global et de l'environnement et fournirait des conseils d'orientation stratégique en cas de phénomènes violents et de situations d'urgence à grande échelle. Il *compléterait les moyens locaux et nationaux de planification et de prévision en offrant une vision intégrée et globale*. De cette façon, il représenterait un outil d'une valeur inestimable pour soutenir et améliorer la prise de décision basée sur les évidences scientifiques dans le monde entier.

Nous prévoyons qu'un tel centre inclura des moyens entièrement dédiés au calcul haute performance, complétés de façon adéquate par les ressources apportées par des experts scientifiques et techniques. Le centre sera capable d'assimiler toutes les données mondiales disponibles se rapportant à *l'état dynamique de la planète*, et fournira des analyses de risques pour la sécurité des populations. Il sera très fortement connecté aux moyens associés aux échelles locale, nationale et régionale, et il aura accès aux différents *réseaux de sciences citoyennes* qui ont récemment apparus.

Une fois achevé, ce **Centre International de Simulation du système Terre** atteindra la viabilité financière dans le cadre d'un *partenariat public-privé*, qui travaillera de façon étroite avec des agences gouvernementales, des ONG internationales et des sociétés privées, pour fournir une vue d'ensemble complète dans le domaine des changements planétaires, tout en générant des recettes d'exploitation grâce à des contrats de services professionnels, à des licences de brevets, à la vente de temps de calcul, ainsi qu'en recevant des contributions autres que financières de la part d'organisations partenaires.

La *Fondation ICES* - et dans le même temps son conseil d'administration, son comité d'experts, son site Internet - a déjà été créée et est prête à intensifier son activité et à obtenir les équipements informatiques de haute performance, l'expertise logicielle et les technologies de visualisation nécessaires pour faire de ce projet une réalité.

Nous cherchons des partenaires stratégiques et financiers pour déployer ces capacités fondamentales de ICES sous forme d'une *ONG basée en Suisse, à but non lucratif, avec pour seule finalité de contribuer au bien public*.

Détails sur le site www.icesfoundation.org



Catastrophes en chaîne

Si vous ouvrez un journal aujourd'hui, vous découvrirez très probablement qu'un tremblement de terre a encore eu lieu quelque part dans le monde, que de terribles incendies ont brûlé de précieuses forêts et se propagent en-dehors de tout contrôle, ou qu'une nouvelle "tempête centennale" inonde une région, provoquant des crues éclair et des coulées de boue. De tels événements sont plus susceptibles de se produire à notre siècle, à cause des variations naturelles et des effets cumulés des débordements de notre civilisation, de la modification des paysages, de l'industrialisation en plein essor et du réchauffement climatique.

Nous devons même nous attendre à ce que l'impact de ces événements soit plus marqué dans le futur qu'il ne l'était dans le passé – alors que des populations locales moins nombreuses et plus résistantes pouvaient éviter les effets nocifs d'un désastre – mais ce n'est plus le cas, car dans ce monde très urbanisé, constitué de nombreuses mégalopoles, dont la population se concentre pour une grande partie sur le littoral, le long des rivières et des cours d'eau, et des failles géologiques, la géographie des risques a complètement changé.

Un rapide examen de la dernière décennie suffit à susciter de l'inquiétude - tremblements de terre en Haïti, en Italie, en Turquie, au Chili, en Nouvelle-Zélande et au Japon; tsunamis dans l'Océan Indien ainsi que dans l'Océan Pacifique; fusion du cœur du réacteur nucléaire de Fukushima; tornades traversant le centre et le sud des Etats-Unis; feux de forêt en Australie, en Californie, au Chili et en Europe; sécheresses pluriannuelles dans le sud-ouest des Etats-Unis, au Mexique et dans la corne de l'Afrique; canicules en Russie et en Europe; inondation de grande ampleur en Asie et en Amérique latine; perturbation du trafic aérien international par les volcans islandais et chiliens; et cette liste n'est pas exhaustive.

En réalité, nous avons connu récemment une série de catastrophes dont non seulement la prévision n'était pas précise mais dont la gravité n'était pas non plus correctement estimée – en grande partie parce que les outils de prévision dont nous disposons sont insuffisants, et parce que nous avons une compréhension limitée de la façon dont les systèmes naturels différents agissent de concert. Et pourtant la fréquence de tels événements dommageables va très probablement augmenter dans les décennies à venir, plutôt que diminuer. Et une

élévation du niveau de la mer le long de toutes nos côtes ne fera qu'exacerber de façon certaine cette situation.

Les principaux défis dans le domaine de la gestion des catastrophes d'origine naturelle sont associés à l'intensification des activités humaines et à leurs impacts sur la planète. Les réserves d'eau souterraine s'amenuisent tandis que la demande en production de nourriture et en biens manufacturés augmente. La déforestation et le développement urbain continuent de modifier le cycle de l'eau, des nutriments et de l'énergie - perturbant les équilibres naturels établis depuis des millénaires avant les débuts de l'industrialisation.

Jamais auparavant le besoin de connaissances détaillées sur les changements planétaires ne s'était fait autant sentir. ICES répondra à ce besoin crucial d'accéder à une meilleure information et plus synthétique, et à des analyses et des simulations pour soutenir la prise de décision, tâche d'autant plus difficile en cette époque compliquée et de plus en plus tourmentée.

Le moment est venu

Nous nous tenons à la croisée des chemins. Au moment précis où le besoin de synthèse est au plus fort, les moyens essentiels qui pourraient conduire à de nouvelles perspectives et des découvertes de grande envergure sont à portée de main. Les décennies récentes ont vu apparaître et émerger des outils et des réseaux de mesures novateurs qui forgent ensemble les forces de la connaissance spécialisée par discipline – sciences du climat, géophysique, études environnementales et santé publique, par exemple. De plus, les pas de géant accomplis en puissance de calcul, en capacités de modélisation mathématique, ainsi que dans la collecte de données et les méthodes d'analyse, ont permis aux différentes communautés scientifiques dans le monde de faire tourner des simulations numériques des processus les plus complexes dans leur domaine respectif, et avec une précision de plus en plus grande.

Et pourtant, les avancées technologiques les plus poussées ne sont pour l'instant pas appliquées aux menaces systémiques posées par les changements planétaires. En réalité, les supercalculateurs classés dans le premier tiers des plus performants ont servi jusqu'à maintenant surtout aux complexes militaro-industriels, alors que les plus grandes menaces pour la civilisation – à savoir les changements climatiques, les catastrophes d'origine naturelle, les contaminations environnementales, la crise écologique, associés selon toute vraisemblance au chaos social – n'ont pas bénéficié des ressources que cette situation difficile mériterait de leur consacrer. Un rapide coup d'oeil au *Top 500 des sites de supercalculateurs* dans le monde révèle qu'aucune des dix machines les plus puissantes n'est consacrée aux sciences de la Terre.

Il ne fait aucun doute que notre monde d'aujourd'hui a besoin de s'équiper le plus vite possible en centres de calcul avec des supercalculateurs de pointe continuellement mis à jour et entièrement consacrés à la coordination d'une vision globale et au rapprochement entre les simulations complexes et les sciences de cette planète dynamique sur laquelle nous vivons.

La puissance de la recherche basée sur des simulations dans la filière aérospatiale du secteur militaro-industriel a été démontrée à maintes fois pendant les dernières décennies, ainsi que plus généralement dans les industries de manufacture, comme étant un outil utile pour la conception et le développement. C'est maintenant de façon certaine le moment idéal pour mettre en oeuvre une telle infrastructure utile à l'ensemble de la planète, et pour entreprendre de construire la simulation la plus difficile d'entre toutes – celle du système Terre tout entier.

“Il est temps de commencer à planifier de véritables moyens internationaux de prévision du climat, à une échelle telle que celle d'ITER ou du CERN. Un tel centre ne remplacerait pas les centres nationaux du climat déjà existants. Il leur permettrait plutôt de mener le type d'expérimentation en recherche qu'il est à l'heure actuelle impossible de mener.”

- Tim Palmer, Président de la Royal Meteorological Society

Synthèse globale des connaissances

Les deux derniers siècles sont des exemples typiques de la spécialisation et de la fragmentation des connaissances.

Aujourd'hui, près de 100 domaines de recherche s'attellent aux différents aspects de notre *système Terre* – chacun avec leurs propres départements académiques, processus de révision par leurs pairs, revues professionnelles et colloques de recherche.

Chercheurs, universitaires, et représentants officiels de gouvernements doivent surmonter de nombreux obstacles pour se tenir informés des derniers développements dans les domaines proches. Les idées circulent en circuit fermé et sont stockées dans des réservoirs parallèles, très peu de grandes institutions s'intéressant à la *Terre dans son ensemble*; l'intégration de la connaissance n'est pas à l'ordre du jour ! Il en résulte que beaucoup de progrès remarquables au siècle dernier se sont accomplis aux dépens de l'ensemble du système.

Aujourd'hui n'existe aucun centre institutionnel en mesure de modéliser le *système Terre tout entier*. Nous disposons de modèles numériques qui décrivent tout, depuis les vents solaires dans l'espace interstellaire jusqu'aux modèles du noyau interne de la Terre, en passant par la tectonique des plaques, l'occupation des sols, la circulation atmosphérique, les âges glaciaires et la circulation océanique. Mais il n'existe pas de *Centre de simulation du système Terre* qui réunisse toutes les nombreuses composantes à l'échelle globale.

Toutefois un premier essai de combler ce manque fut tenté par le Japon avec son *Yokohama Earth Simulator* – lancé en 2002 et toujours actif aujourd'hui. Ce fut un premier essai concluant et revêtant un caractère historique, basé sur l'utilisation du plus puissant des supercalculateurs de l'époque (un NEC SX-6), dont toutes les ressources étaient dédiées à l'étude de la dynamique planétaire. Malheureusement, même si les

performances de cette machine ont été multipliées par un facteur 3 en 2009, celle-ci a néanmoins dégringolé à la 94^{ème} position dans le classement établi par le *Top500 des sites de supercalcul* dans son édition de novembre 2011, et elle peine à rester compétitive en ces temps où les financements gouvernementaux sont soumis à rude épreuve; c'est un sujet auquel nous reviendrons un peu plus loin dans ce document.



Earth Simulator de Yokohama

A ce stade, nous aimerions souligner que la *synthèse des connaissances* nous apporte plus que la somme des fragments existants des connaissances. Ce qu'on appelle les "effets de bord" qu'on trouve aux frontières des domaines de la connaissance sont un terrain fertile pour à la fois des perspectives de découvertes capitales, et des découvertes nouvelles. Il y a beaucoup plus à apprendre à propos de la complexité du *système Terre tout entier* que ce que nous en comprenons aujourd'hui; en attente d'être percée à jour, elle ne se révélera que grâce à l'application de méthodes poussées de modélisation, une puissance de calcul renforcée, et des efforts considérables pour l'intégration des multiples sciences de la Terre.

ICES mettra à disposition cette *plateforme globale pour la synthèse et l'intégration des connaissances*, et encouragera un partenariat fort avec les agences gouvernementales, les laboratoires de recherche, les organisations non-gouvernementales et les réseaux de

sciences citoyennes compétents dans le monde entier.

Notre approche suivra les principes des codes "open source", de l'accès libre aux fichiers de données, et des publications en libre accès, de façon à ce que l'information puisse circuler librement et rapidement entre les nombreux domaines spécialisés et entre les territoires nationaux qui existent maintenant et existeront dans le futur.

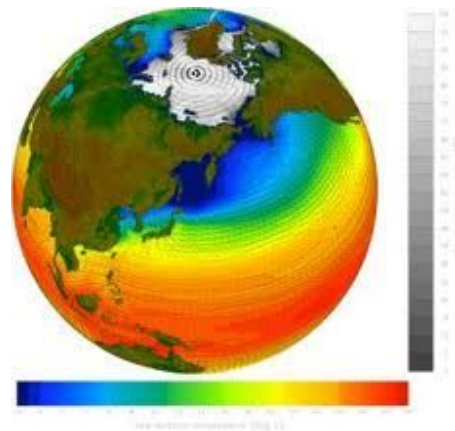
La modélisation et la simulation comme base de collaboration

Pendant 50 ans ou plus, la simulation basée sur le calcul informatique s'est montrée être une approche robuste pour l'étude de systèmes dynamiques complexes dans la recherche industrielle et scientifique. C'est un outil puissant permettant d'aller au-delà de ce que les méthodes théoriques et expérimentales seules peuvent fournir. La simulation est maintenant couramment utilisée pour explorer l'évolution temporelle de systèmes complexes lorsque l'expérimentation n'est pas possible, ou, dans bien des cas, lorsqu'elle présente tout simplement trop de risques.

La formation des galaxies, des systèmes solaires, des étoiles et des planètes par exemple, ne peut pas être étudiée de façon expérimentale puisque les échelles spatiales et temporelles de formation de ces systèmes sont bien trop élevées pour l'expérimentation.

De même, la *géo-ingénierie* est un domaine de science et d'ingénierie spéculatives ayant potentiellement des conséquences inattendues pour la Terre. Les simulations numériques quant à elles, permettent que de telles idées soient *testées sans risque et étudiées dans les moindres détails*, avec l'intervention de nombreux experts, dans

l'environnement d'un bureau ou dans un environnement plus ouvert – sous forme de présentations interactives dans un auditorium, par exemple.



La *collaboration entre spécialistes dans différents domaines d'expertise* peut aussi s'appuyer efficacement sur les méthodes de simulation poussées d'aujourd'hui – c'est l'une des quelques méthodologies qui se sont prouvées être très efficaces pour réunir les connaissances approfondies de différents domaines.

Les modèles numériques pourraient être utilisés pour prendre en compte le réchauffement climatique, l'érosion des sols, et le changement d'occupation des sols, par exemple, et étudier leur effet potentiel combiné sur le déclenchement de tremblements de terre. Des sujets aussi ardues que la prévision des tremblements de terre bénéficieraient de l'intégration complète de ces trois processus ainsi que d'autres, au sein d'un modèle unique. *Nous aimerions souligner que la modélisation, la simulation et la visualisation fournissent une base méthodologique permettant d'accomplir des progrès importants dans des domaines complexes.*

Nous sommes en réalité convaincus que *l'intégration des sciences de la Terre peut s'appuyer de façon robuste sur la recherche et*

développement basée sur la simulation, et qu'en construisant et en maintenant à jour un centre scientifique à la pointe pour le supercalcul et la simulation, suffisamment connecté au reste du monde et intégrant de façon continue divers jeux de données au fur et à mesure qu'ils apparaissent, nous pouvons développer et tirer un grand avantage de nouveaux algorithmes et modèles mathématiques. Ceci plaide de façon évidente en faveur d'une participation active de ICES dans la conception de standards globaux de modélisation à travers la communauté entière des sciences de la Terre.

Nous nous engageons aussi à fournir du temps de calcul en cas de gestion et de réponse à des catastrophes transnationales, comme besoin est en cas de phénomènes violents et de situations d'urgence à l'échelle globale - le besoin de collaboration internationale étant considérablement augmenté en cas de catastrophe. Ce sont dans ces moments que les différents pays bénéficieront le plus d'un centre consacré à l'analyse et à la prévision, et disposant de capacités globales.

Une autre idée importante à souligner est que, du fait de sa nature non-gouvernementale, ICES n'entrera pas en compétition avec les centres de recherche existants dans leur quête de financement par les gouvernements nationaux. ICES ne tentera pas non plus de dupliquer leurs efforts de collecte de différentes données. Notre rôle est d'intégrer et de synthétiser ce qui est déjà connu, de construire des modèles de la prochaine génération du système Terre tout entier, et d'éduquer la prochaine génération des acteurs de la pensée holistique et des décideurs politiques.

Nous remplirons le rôle d'un centre de recherche, d'un centre de ressources de

calcul, et d'une banque de connaissances – qui portent les efforts locaux, nationaux et régionaux à une échelle planétaire.

En dépit d'énormes efforts dans les domaines de la modélisation du climat et des capacités des ordinateurs perfectionnés pendant les 30 dernières années, notre faculté à fournir à la société des estimations robustes de risques, en particulier ceux provoqués par les changements potentiellement catastrophiques du climat régional, est contrainte par les limitations de la puissance de calcul et de la compréhension scientifique.

- Jagadash Shukla, Président de Institute of Global Environment and Society

Les avancées du calcul haute performance

Selon la loi de Moore, les avancées technologiques dans l'industrie des semi-conducteurs se traduisent pour le calcul informatique par un facteur 1000 d'amélioration du rapport prix/performance tous les dix ans. Ceci signifie que les machines les plus performantes d'aujourd'hui sont un million de fois plus puissantes que les meilleures machines ne l'étaient il y a seulement 20 ans.

Les ordinateurs d'aujourd'hui les plus à la pointe atteignent des performances de l'ordre du *multi-petaflop*¹ – ils peuvent calculer des billions d'opération *par seconde* – et une telle puissance de calcul a rendu plus abordable la résolution de nombreux problèmes jusqu'à présent complètement

¹ Un petaflop est égal à 10^{15} , ou 1000 billions d'opérations à virgule flottante par seconde.

insolubles par les techniques courantes de modélisation et de simulation numériques.

La dynamique complexe des écosystèmes, de la circulation atmosphérique et océanique et nombre de processus complexes d'aggrégation impliqués dans la formation des galaxies, des étoiles et des planètes par exemple, ont été simulés avec succès par des calculateurs actuels de haute performance.

La maintenance des équipements en calculateurs de haute performance est extrêmement coûteuse, et seuls quelques gouvernements peuvent se permettre d'investir dans l'infrastructure et l'expertise nécessaires pour tenter des simulations de la Terre à l'échelle globale – Les Etats-Unis, le Japon, la Chine, l'Allemagne, la France, le Royaume-Uni étant des exceptions à la règle – mais la complexité des simulations globales est si grande que même ces efforts gouvernementaux sont de portée très limitée.

Nous pensons fermement que le seul moyen d'aller de l'avant pour comprendre et prévoir de façon robuste le système Terre à l'échelle globale et les menaces écologiques est de mettre des ressources en commun globalement, et de collaborer dans cet effort en dépassant les frontières nationales.

De même que le CERN était coûteux, et que sa construction et son entretien dépassaient le budget et les limites de la connaissance de n'importe quel gouvernement national individuel, pour les mêmes raisons se justifie pleinement d'avoir un seul simulateur de la Terre, affrété à l'échelle globale, et capable de se maintenir à la pointe de la technologie et de constituer le *méta-noeud* d'un réseau global. *C'est ce rôle que nous prévoyons de faire remplir par ICES.*

De plus, tout comme le CERN héberge une communauté d'experts de grande valeur technique, ICES fournira un réservoir de ressources disponibles afin d'aider les différentes communautés scientifiques nationales à s'atteler aux défis les plus complexes et les plus difficiles posés par les différentes composantes des *sciences de la Terre*.

Notre objectif pour ICES est de construire une infrastructure pour le calcul haute performance, classée tous les ans parmi les dix premières machines du monde, et de consacrer entièrement ses capacités à réunir toutes les sciences de la Terre: un centre global qui complète les capacités disponibles à l'heure actuelle aux niveaux local, national et régional, et un centre fonctionnant en libre accès, selon des principes non lucratifs. Les menaces simultanées de la déstabilisation climatique, des catastrophes écologiques et de l'appauvrissement des ressources *exigent impérativement que nous y apportions, en tant que civilisation prospère, la meilleure réponse collective possible.*

Créer de la valeur à partir de grands ensembles de données

Nous vivons aujourd'hui à l'ère de l'information, mais nous pouvons facilement être submergés de données dans notre environnement proche. Les dispositifs intelligents tels que les téléphones portables, les ordinateurs portables et les tablettes se multiplient et sont devenus en très peu de temps omniprésents. En réalité, Internet est maintenant tout à fait accessible à tous, en conséquence de quoi, bon nombre de flux de données sont devenus véritablement d'échelle astronomique afin de répondre aux besoins de cette communauté d'utilisateurs – qui stockent et qui expédient

des pétaoctets² et même des exaoctets³ de données par an.

De cet environnement abondant en données est en train d'émerger la science de l'*analyse des données massives* - à savoir, l'exploration de données pratiquée sur des volumes énormes afin de mettre en évidence les signaux et l'information importants qu'elles contiennent.

Des quantités énormes de données sont générées chaque jour par les observations de la Terre faites depuis l'espace, sur les terres et les océans. L'harmonisation des pratiques et des procédures pour leur usage, dans le cadre d'un effort international, fait partie des challenges majeurs et des priorités pour faire progresser la compréhension du système Terre et des changements planétaires

- Michael Rast, Directeur de Science Strategy, Coordination & Planning Office, ESA

Sont aussi d'un intérêt tout particulier pour ICES les ensembles de données enregistrées minute par minute par les *réseaux de capteurs* qui surveillent la météorologie de surface, les courants océaniques, l'activité sismique et bien d'autres aspects du comportement de notre planète, puisque chaque pays collecte des informations relatives à la Terre d'une façon ou d'une autre, à partir de dispositifs in-situ, sur les océans ou depuis l'espace.

L'existence de tels ensembles de données est d'une importance cruciale pour ICES, puisque nous aurons besoin d'y avoir accès pour les utiliser en entrée de nos efforts de modélisation et de simulation. A cette fin, nous soutenons fermement les efforts de tous les gouvernements nationaux pour ouvrir des

2 Un pétaoctet est égal à 10^{15} bytes

3 Un exaoctet est égal à 10^{18} bytes

portails web donnant un accès libre et gratuit à leurs archives de données.

L'utilisation de données mondiales suggère en réalité déjà des améliorations considérables de la prévision des événements météorologiques extrêmes à l'échelle locale. Les événements météorologiques violents sont connus pour faire des ravages dans de nombreuses régions du monde, avec un coût très élevé en termes de vies humaines et de préjudices corporels. Le prix à payer pour une modélisation et des capacités de prévision météorologiques plus précises est faible en regard des dégâts causés par des événements météorologiques non prévus. Des améliorations dans la prévision de la trajectoire des tempêtes donnent lieu à un rapide retour sur investissement, mais cela nécessite d'avoir accès à la gamme complète des données dans le monde, pas seulement aux données locales.

Par exemple, le coût de l'évacuation en cas d'ouragan sur la côte Atlantique des Etats-Unis est proche de 500 000 euros par km, ou de 50 millions d'euros dans le cas d'un ouragan non prévu qui s'approcherait à moins de 100 km de la côte. Une amélioration de 50% de la précision de la prévision abaisserait ce coût de 25 millions d'euros, pourvu qu'elle soit effectuée en temps opportun; ce qui est suffisant pour recouvrer en un seul événement le coût de l'équipement en calcul haute performance, et bien sûr, avant tout, en sauvant des vies en même temps. Les impacts économiques de ce seul scénario font de ICES un investissement hautement souhaitable.

En plus de l'*analyse des données massives*, ICES donnera aussi des consultations dans le domaine du calcul haute performance et fournira du temps de calcul aux pays et aux régions en voie de développement ne

disposant pas eux-mêmes des ressources nécessaires – nous consacrerons ainsi 25% de notre capacité totale de calcul à des pays moins développés qui ne peuvent pas se permettre leurs propres centres de recherche.

Visualisations 3D: interaction et immersion

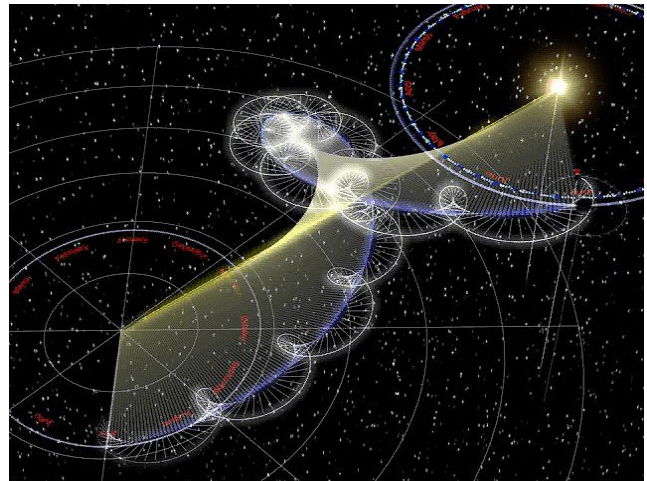
La possibilité d'extraire, de manipuler et de visualiser toute information en cours d'étude est un aspect crucial pour l'analyse des données massives. Les décideurs politiques, les dirigeants élus, les journalistes, voire le grand public auront besoin de mises en images et d'animations spectaculaires. Ces formes de visualisation véhiculeront d'importants éclairages sur notre planète en évolution, afin de convaincre ces différents publics d'agir à l'échelle locale.

Les chercheurs eux-mêmes auront besoin de représentations visuelles des processus physiques qu'ils étudient de plus en plus sophistiquées, en particulier alors que la complexité des modèles s'accroît et que plus de processus naturels sont pris en compte.

Un avantage important pour l'analyse basée sur la visualisation est que les résultats de simulation numérique peuvent être présentés comme des couches multiples de données pour tous les pas de temps de processus essentiels. Bien que le calcul de la physique et de la chimie sous-jacentes doive toujours se faire avec la force brute du calcul numérique, les sorties visuelles permettent à l'esprit humain de comprendre plus vite et plus en profondeur les processus fondamentaux de la nature.

De plus, une telle "informatique visuelle" permet à n'importe quel nombre de spectateurs d'explorer des mondes virtuels avec précision et rigueur, soit localement soit à

distance, soit individuellement soit dans le cadre d'un auditorium. A cet égard, nous pouvons tous témoigner de ce que Google Earth, les salles de spectacle IMAX et les bulletins météorologiques quotidiens à la télévision ont apporté à notre compréhension des processus.



Représentation visuelle de la Terre évoluant en spirale autour du Soleil.

Même dans le domaine du divertissement pour les enfants, les consoles vidéo modernes sont une bonne démonstration de la puissance d'immersion et d'interaction de la visualisation. Le réalisme des images d'univers de jeux tels que "SimCity" et "Second Life" est un ingrédient essentiel pour une implication sérieuse aujourd'hui - et le résultat est qu'il encourage des millions de jeunes joueurs. De la même façon, nous pensons qu'en combinant simulation scientifique et imagerie photo réaliste en sciences de la Terre, on encouragera une communauté plus large d'individus à étudier sous tous ses aspects la Terre dynamique, avec des moyens qui vont bien au-delà de ce qui est possible aujourd'hui. Nous comprenons tous qu'on croit ce que l'on voit – et dans ce cas, "croire" ouvre la porte à une participation large et constructive !

Des raisons comme celles-ci font que la simulation visuelle est devenue un outil de

formation professionnelle couramment utilisé pendant ces dernières décennies – depuis la formation sur *simulateurs de vol* pour les pilotes jusqu'à la formation en *chirurgie par simulation* pour les médecins spécialistes.

Les mondes virtuels nous permettent de tirer les leçons de nos erreurs, avec un faible impact sur l'environnement, avant de passer au monde réel. De la même façon, ICES insistera sur l'importance et l'utilité pour la formation d'une visualisation intuitive, interactive et immersive, pour la compréhension des systèmes naturels complexes.

Nous fournirons à nos clients via Internet ces ressources, qui constituent une partie très utile de nos résultats de simulation. Les décisionnaires et les acteurs de l'urgence ou de mission semblable tireront profit des simulations interactives des scénarios globaux ou locaux, leur donnant *le moyen de minimiser les risques et d'éviter des dommages potentiellement catastrophiques, en s'entraînant avec un coût nul dans un monde virtuel et sans causer de dégâts.*

Mettre à profit les différents niveaux de puissance de calcul

Le calcul par les superordinateurs est considéré comme le degré le plus avancé des capacités informatiques, et ICES en fera évidemment un usage étendu pour mener à bien sa mission. Il existe néanmoins une hiérarchie dans la puissance des machines jusqu'à ce niveau le plus avancé, mais on peut trouver pour chaque machine de couche intermédiaire une utilité appropriée à nos opérations.

En-dessous du calcul par les superordinateurs, la couche la plus proche est celle du *Grid Computing* : plusieurs machines de moindre performance sont

connectées les unes aux autres, et une architecture logicielle sus-jacente permet aux utilisateurs de fragmenter leur travail en de nombreux segments, puis d'en répartir l'exécution vers le réseau distribué de machines.

Dans un monde complexe où des intérêts très divergents sont en compétition, les solutions simplistes ne font pas recette – et sont probablement inapplicables dans la réalité ...

- Martin Béniston, Directeur de l'Institut des Sciences de l'Environnement, Université de Genève

Dans le cas où l'usage du réseau de machines peut être "*comptabilisé*" et les différents coûts facturés aux utilisateurs individuels, il s'agit de ce que l'on dénomme souvent le *Cloud Computing*. Les avancées récentes en "*virtualisation*" et en accès aux bases de données ont conduit à une large adoption du *Cloud Computing* dans le monde des affaires. Cette même méthode est toutefois aussi en train de faire ses premiers pas dans le monde des sciences.

Le *Grid Computing* ainsi que le *Cloud Computing* fonctionneront bien tant que les tâches de calcul à effectuer ne nécessiteront pas de communications intensives entre les segments dispersés de logiciel, mais de telles méthodes souffriront de goulots d'étranglement en cas de recours intensif au réseau.

Une tentative de calculer le vaste champ de processus physiques parallèles et simultanés en une *simulation du système Terre* complète pâtira évidemment de tels effets de latence, et les goulots d'étranglement auront un impact négatif sur la disponibilité des résultats finaux. Le *Grid Computing* est donc *moins bien adapté pour livrer à temps des*

simulations décisives qu'un système consolidé unique de puissance égale - ce qui est la force caractéristique du calcul par superordinateurs.

Au niveau en-dessous de celui du Cloud Computing se trouve Internet, et au niveau encore inférieur, les ordinateurs individuels de bureau, les ordinateurs portables, les tablettes et les smartphones. Aujourd'hui, la plupart d'entre eux permettent de se connecter à Internet, et peuvent être considérés comme des *dispositifs d'accès* pour le téléchargement depuis le "Cloud", ou pour y envoyer des données.

ICES a l'intention d'utiliser le niveau de hiérarchie informatique le plus adapté à chaque cas, et choisi au cas par cas, pour chaque développement de ses composantes logicielles. Toutefois, lorsqu'il s'agit de la modélisation, de la simulation et de la

visualisation des défis globaux les plus complexes, il ne fait aucun doute que *tenir compte des contraintes de communication entre les nombreuses sous-tâches de travail imposera d'utiliser un supercalculateur centralisé, entièrement consacré à ce travail et capable de produire des résultats à haute résolution dans un laps de temps pertinent.*

Il sera possible de distribuer des résultats depuis des supercalculateurs vers d'autres via l'Internet public, mais néanmoins parfois avec le soutien intermédiaire du Cloud Computing. Avec une telle infrastructure numérique, il sera possible pour les clients d'accéder via Internet à des simulations visuelles de ICES à la fois immersives et interactives. C'est de cette façon qu'ICES fera le meilleur usage des différents niveaux de puissance de calcul à sa disposition.

Obtenir une représentation complète de la Terre

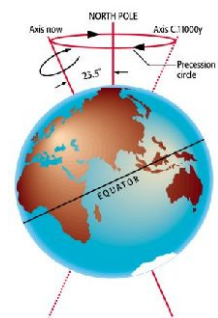
Observée depuis l'espace, la Terre est homogène et continue – un ensemble sans frontière de masses terrestres et d'océans - et pourtant, notre connaissance de la Terre n'est ni homogène, ni sans frontière, ni continue. Avec pour objectif de la comprendre, la science a découpé la Terre en différentes périodes temporelles et en différents sous-systèmes. La pensée réductionniste a progressé trois siècles durant en divisant le monde en éléments facilement gérables - un processus de *dés-intégration* qui a pour résultat le cloisonnement que nous observons aujourd'hui dans le milieu académique.



Un rapide examen des domaines de recherche actuels illustre cette représentation fragmentée: le globe solide sous nos pieds est classé en catégories telles que les couches élémentaires du noyau, du manteau, de la croûte, de l'asthénosphère et de la lithosphère. Puis, les phénomènes particuliers à ces couches deviennent des sous-domaines, tels que *failles géologiques, zones de subduction, geysers, et glaciers*, pour n'en citer que quelques-uns. De même, en sciences de l'atmosphère, il y a les couches élémentaires de la troposphère, la stratosphère, la mésosphère, la thermosphère, l'exosphère, l'ionosphère, et la plasmasphère (ou magnétosphère interne) et la reconnaissance de phénomènes spécifiques tels que *transfert radiatif, chimie des aérosols, formation des nuages, convection*, etc – tout cela représentant seulement un faible échantillonnage *des domaines et sous-domaines complexes de la recherche qui rendent aujourd'hui possible d'étudier le système Terre*.

Si de la même façon, nous segmentions les océans (qui couvrent plus de 70% de la surface terrestre) ou si nous séparions les uns des autres les systèmes biologiques terrestres, le nombre de domaines de recherche exploserait de façon exponentielle et représenterait bien au-delà d'une centaine de champs d'investigation indépendants mais néanmoins se recoupant. La complexité intrinsèque de la Terre apparaît donc de façon évidente avec ce vaste champ de domaines de recherche spécialisée, formé pour analyser l'intrication de ces différentes composantes.

Pourtant, même cette approche est insuffisante, car une autre dimension de l'organisation des connaissances est nécessaire pour parler des *effets cycliques* et des *dynamiques de temps* de certains processus. On peut citer par exemple le *cycle hydrologique* pour les nuages et la pluie, les rivières et les océans, la respiration des plantes, et l'érosion des sols. Les *cycles du carbone et de l'azote* combinent la géologie et la vie – s'intéressant à la recombinaison fréquente des atomes participant à la chimie de toute forme de vie, et qui sont aussi impliqués dans les formes variées de pollution de l'air, de formation des roches, et de piégeage de la chaleur par l'atmosphère. Et d'autres cycles essentiels sur la Terre entraînent *la circulation atmosphérique et les changements saisonniers*. A une échelle encore plus grande existent les *cycles de Milankovitch*, décrivant les *paramètres orbitaux du système Terre-Soleil*, et qui dictent *l'apparition et la disparition des âges glaciaires*.



Afin de comprendre ces nombreux aspects de notre Terre en évolution – condition préalable pour qu'une civilisation devienne durable – *de nombreux domaines et sous-domaines spécialisés doivent être à nouveau réunis en un tout homogène - c'est la priorité majeure de la mission de ICES.*

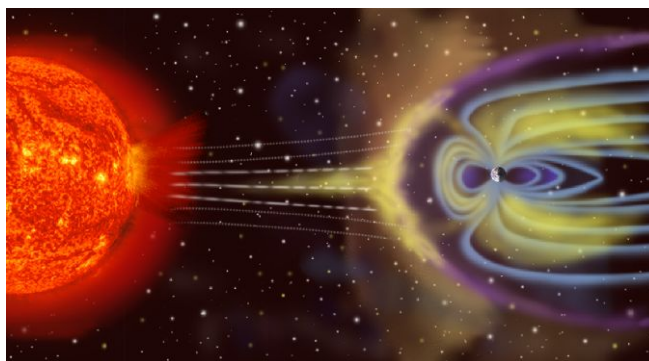
Influence du système solaire

A ce stade, nous devons souligner que pour tout effort de modélisation et de simulation du système Terre dans son ensemble, il est nécessaire d'inclure la physique de phénomènes cosmologiques de plus grande échelle. La Terre n'est pas un système fermé, car elle est constamment bombardée par du rayonnement et des particules de haute énergie provenant du Soleil. Cette activité réchauffe la planète, nourrit le processus de la photosynthèse et modifie la chimie de notre atmosphère.

Tout comme les sciences de la Terre ont été traditionnellement fragmentées en de nombreux domaines, de la même manière l'a été à plus grande échelle le système solaire dans lequel s'intègre la Terre. Saisir toute la complexité des changements subis par notre planète demande d'inclure la physique des forces cosmologiques appropriées dans toutes nos études de simulation. Les modèles de climat les plus récents et les plus perfectionnés utilisés aujourd'hui ne prennent pas en compte la plupart des interactions dynamiques qui se produisent en réalité entre la Terre et le Soleil. Dans ces modèles, le Soleil est souvent simplifié comme une source d'énergie constante et statique, en dépit du fait que les *éjections de masse coronale* depuis sa surface entrent en collision et interagissent avec la haute atmosphère de la Terre, et perturbent sa chimie ainsi que le champ magnétique qui protège des radiations mortelles toute vie à sa surface.

A des échelles de temps plus longues, les effets gravitationnels "*à plusieurs corps*" des

planètes voisines de la nôtre sont à l'origine à la fois de l'inclinaison de l'axe de la Terre et des variations de la distance orbitale Terre-Soleil, celle-ci provoquant à son tour une alternance de périodes glaciaires et de périodes plus chaudes sur la Terre. De tels phénomènes sont souvent inclus dans des simulations astrophysiques *avancées*, mais celles-ci demandent encore à être combinées avec une autre physique pour modéliser numériquement le système Terre lui-même. En plus de cette lacune, l'intérieur de notre Soleil est soumis à un changement constant et violent, et ceci doit être aussi pris en compte quant à ses effets sur la Terre, si nous voulons aboutir à des projections futures précises.



La multitude d'objets spatiaux moins bien identifiés est aussi un autre élément à inclure. En fait, la prédominance des comètes, des astéroïdes, et des météorites dans notre système solaire menace régulièrement notre planète Terre; et même l'espace terrestre, maintenant encombré de nos propres rejets issus de 50 ans de programmes spatiaux nationaux, représente un risque continu pour tous les satellites de communication de la société et pour de futurs projets spatiaux. Une théorie invoque même, pour expliquer la fin de l'âge des

dinosaures, un astéroïde qui aurait percuté la pointe de la péninsule du Yucatán il y a environ 65 millions d'années.

Une étude complète des composantes du système Terre exige clairement que nous prenions en compte toutes ces considérations, et que nous combinions une quantité bien plus grande de *facteurs interactifs que ceux pris en compte à l'heure actuelle*. ICES incorporera ainsi dans ses activités de modélisation des phénomènes relevant de la physique solaire et de l'astronomie, et s'assurera que les risques associés sont pleinement quantifiés.

Prévision et incertitude des événements extrêmes

ICES va contribuer de façon essentielle au bien-être social en s'intéressant au domaine de la *prévision des événements météorologiques extrêmes* et à *l'évaluation des risques de catastrophes naturelles*.

Les principaux défis concernant la prévision du comportement de systèmes complexes sont bien connus, à savoir que les rétroactions complexes créent une sensibilité à des processus inconnus qui peut être à la fois subtile et spectaculaire. Les plus sensibles de tous ces processus sont ceux qui sont de *nature non-linéaire* – sous l'effet desquels de faibles changements en entrée conduisent à de forts changements en sortie.

Il est frappant de remarquer que tous ces processus correspondent exactement à ceux qui sont le moins bien compris, et le moins bien caractérisé dans les meilleurs modèles numériques dont nous disposons aujourd'hui.

De même que pour les changements climatiques, l'incertitude est *la* problématique essentielle, car les préjudices

potentiels causés par les changements globaux couvrent une large gamme de possibilités, l'impact de beaucoup d'entre eux pouvant être spectaculaire. Un aspect crucial des changements climatiques est la question de *l'élévation du niveau de la mer*. Si les calottes glaciaires principales de l'Antarctique et du Groenland fondent plus rapidement que ce que les modèles climatiques actuels prévoient, il y aura une montée significative du niveau des océans dans le monde entier.

L'estimation conservatrice de l'élévation du niveau de la mer donnée par les sorties de modèles actuels est d'environ un mètre avant l'année 2100. Toutefois, l'incorporation de *rétroactions terre-glace* non-linéaires accroîtra vraisemblablement cette estimation de plusieurs mètres, avec des effets catastrophiques évidents sur les populations des côtes, à l'échelle du globe.

Prendre en compte toutes ces interactions pertinentes dans nos *modèles de système Terre* exigera néanmoins une amélioration substantielle de la sophistication des modèles numériques eux-mêmes, ainsi qu'un fort développement de la puissance de calcul sous-jacente.

Les modèles globaux actuels ont une résolution horizontale de l'ordre de la centaine de kilomètres au mieux, alors qu'il sera nécessaire d'améliorer cette résolution en allant jusqu'à au moins 10 kilomètres, puis à des valeurs encore meilleures. La résolution verticale, en revanche, devra être de l'ordre du kilomètre. La capacité de calcul disponible est un facteur limitant important qui ralentit les progrès faits dans l'amélioration de la résolution, et en réalité le développement des modèles en général – et ces éléments jouent fortement en faveur de la construction le plus rapidement possible des infrastructures de ICES, de

façon à permettre la prise en compte de phénomènes atmosphériques de très fine échelle, tels que la physique des nuages, la convection, et la vorticité, ainsi que les courants tourbillonnaires dans les océans.



Ce qui complique d'autant les efforts de prévision du système Terre aujourd'hui est la profonde interconnection des systèmes naturels avec nos systèmes socio-économiques – *nous avons appris à nos dépens que la propagation de catastrophes dans des domaines adjacents peut déclencher des Effondrements Multiples Simultanés*: c'est-à-dire une perturbation dans un système se diffusant à d'autres systèmes proches pour les perturber à leur tour.

Nous avons assisté à un exemple frappant lors de la fusion du coeur du réacteur nucléaire de Fukushima au Japon en mars 2011, générée par une série de liens dans le système qui n'avaient pas été pris en compte à l'avance. Dans ce cas, le glissement d'une

plaque importante dans une zone de subduction du plancher océanique près du Japon a provoqué un tremblement de terre de magnitude 9 sur l'échelle de Richter, ce qui a donné naissance à de nombreuses vagues de tsunami dont la hauteur atteignait 10 mètres ou plus lorsqu'elles atteignirent la côte de la région T hoku environ 30 minutes plus tard. L'eau s'est engouffrée dans des vallées au fond parfois très étroit, ayant alors pour effet d'augmenter la hauteur de l'eau à 40 mètres ou plus.

Sur la côte elle-même, les vagues sont passées au-dessus des barrières de protection et ont inondé les différents systèmes de refroidissement de l'usine d'énergie nucléaire de Fukushima Daiichi, provoquant la fusion du coeur des trois réacteurs nucléaires et causant plusieurs explosions dont les secousses se sont faites sentir dans les villages voisins.

Trois semaines plus tard, un nuage de radiation et de l'eau de fuite radioactive atteignaient les rivages d'autres pays, donnant pour finir un caractère global à l'impact de cet  v nement. Plus de 19 000 personnes ont perdu la vie à cause des effets combinés de ce tremblement de terre, des tsunamis et de la fusion du coeur des réacteurs nucléaires, et plus de 400 000 personnes ont été déplacées – tout ceci n'avait pas été anticipé, mais est d   ti rement au couplage étroit d'autant de systèmes naturels et socio-économiques adjacents.

*Fukushima est un réveil brutal, et nous devrions tous prendre conscience de la gravité potentielle de ces phénomènes de propagation de catastrophes et d'Effondrements Multiples Simultanés. Ce ne sont que grâce à la synthèse et à l'intégration que des systèmes en étroite proximité peuvent être simulés comme un tout. C'est en offrant cette capacité que ICES sera particulièrement utile. Un effort global pour regrouper les systèmes couplés de la Terre en un ensemble homogène est nécessaire avant même de commencer le difficile travail de **Réduction des Risques de Catastrophes** au 21^{ème} siècle.*

Le rôle de ICES pour les villes et les biorégions

Un grand nombre d'actions les plus significatives en terme de durabilité sont maintenant mises en oeuvre à l'échelle locale - principalement aux échelles municipales et biorégionales. C'est presque une banalité que de dire que les risques écologiques sont irrévocablement liés à des questions urbaines. Qu'il s'agisse de prendre des mesures concernant la qualité des eaux, la pollution de l'air, l'accès à la sécurité alimentaire, ou la restriction de plus en plus forte concernant les ressources pour l'industrie, la majorité des solutions est conçue et implémentée par les administrateurs municipaux, les planificateurs régionaux, et les institutions locales qui leur sont affiliées.



Bassin hydrographique de la rivière Amazone

La catastrophe qui s'est produite récemment au Japon nous rappelle que des menaces globales surviennent de perturbations locales. L'inverse est aussi vrai – des risques localisés sont déterminés par des facteurs à large échelle qui les influencent et les contraignent. Dans le domaine de la modélisation numérique, le principal aspect est la *caractérisation des conditions limites* qui représentent ce qui entre dans une région et la façon dont les changements dans la région impactent les zones extérieures.

A l'heure actuelle, beaucoup d'efforts sont entrepris pour simuler les connexions dynamiques pour des biorégions particulières; par exemple dans la région du bassin versant de la rivière Amazone, où de vastes forêts sont traversées par de nombreux cours d'eau qui transportent eau et nutriments à travers le continent sud-américain. Des efforts tels que celui-ci dépendent de réseaux de capteurs très denses pour collecter des données suffisamment précises pour décrire tous les processus physiques essentiels. Et même les fluctuations d'énergie à large échelle de la circulation atmosphérique, du mélange des eaux océaniques, et de la tectonique des plaques contribuent tous de façon significative à ce qui se produit localement.

C'est dans ce contexte que ICES peut jouer un rôle crucial pour les cités et les biorégions – en affinant la performance des modèles globaux du système Terre jusqu'à ce que la *réduction d'échelle* puisse fournir des conditions aux limites fiables pour les simulations locales et biorégionales. La réduction d'échelle implique d'avoir une résolution spatiale et temporelle plus fine que celle utilisée par le modèle global pour établir une "passerelle" mathématique entre différentes échelles. Aucun modèle climatique d'échelle globale utilisé aujourd'hui n'est capable de caractériser assez bien les conditions météorologiques localisées pour des applications en planification régionale.

Contribuer à l'amélioration des modèles peut se faire de deux façons. Les modèles globaux peuvent accroître l'efficacité des simulations locales et biorégionales de haute résolution en renforçant les liens entre les conditions à large échelle et les frontières locales. Et de la même manière, les jeux de données à haute résolution des réseaux de capteurs locaux et

biorégionaux peuvent être utilisés comme entrées pour “entraîner” les modèles globaux. Ce cercle vertueux permet que la complexité des contextes locaux soit reliée aux conditions globales existant à l'échelle du système entier.

Aucune de ces options ne peut être gagnante à elle seule. Alors que pour une implémentation politique, les échelles les plus adaptées sont municipales et biorégionales, les flux provenant des systèmes globaux sont nécessaires quand il s'agit de planification. Des améliorations continues pour les efforts de modélisation peuvent être apportées aux deux échelles, en s'appuyant sur les dialogues et collaborations en cours. ICES fournira une plateforme internationale suffisamment neutre pour accélérer ces échanges, afin que les modèles soient améliorés plus rapidement.

Deux autres défis pour la planification régionale concernent le décalage entre la prévision du temps à court terme et la modélisation du climat à plus long terme, ainsi que la précision de la prévision des précipitations. Ces deux difficultés sont toujours non résolues à ce jour. ICES apportera ses compétences en intégration à ces problématiques.

Sur la voie de la résilience urbaine

Un mouvement global est maintenant en marche; il se focalise sur les environnements urbains neutres en carbone, la sécurité alimentaire à l'échelle régionale, la construction de bâtiments écologiques et le recyclage des déchets – et il est mené par les grandes villes du monde.

De plus en plus d'importance est accordée aux systèmes de transport, à la distribution de l'énergie, à la santé publique et à la qualité de vie pour les habitants de ces villes.

Chaque rapport *State of the World* publié par le Worldwatch Institute depuis 2006 s'est intéressé de près à l'urbanisme, attirant l'attention sur l'amélioration de la conception des villes, anciennes et nouvelles, comme un remède possible pour parer à la détérioration grave de l'écologie.

Dans un récent exposé de la conférence TED, l'innovateur réputé Stewart Brand a expliqué que nous sommes en pleine période de grande migration de population des zones rurales vers des villes de squatters et des bidonvilles dans nombre de régions

du monde. Presque toute l'augmentation de la population de ce siècle va avoir lieu dans ces nouvelles zones urbaines, avec des mégapoles émergeant rapidement à travers toute l'Afrique, l'Asie et l'Amérique latine.

Les villes sont à la fois à l'origine de cette pression de développement contribuant à la détérioration de l'environnement, et les incubateurs culturels de l'innovation technologique et sociale, ce dernier aspect ouvrant de plus en plus la voie à un futur durable. Elles sont au coeur de l'action pour l'implémentation politique, tout en étant le moteur économique du futur.



Des principes de conception écologique sont utilisés pour appliquer le *biomimétisme* – qui s'inspire des systèmes biologiques et vivants – pour planifier le développement urbain sous l'angle de la science des écosystèmes.

Les mêmes principes qu'à l'échelle biorégionale s'appliquent ici. Les systèmes locaux doivent incorporer des changements globaux dans leurs modèles de développement. C'est à ce niveau que ICES, une fois encore, peut apporter sa contribution.

Alors que les villes se débattent avec des questions économiques et environnementales, elles dépendront de plus en plus de la modélisation dynamique pour identifier des risques et mettre à jour des opportunités. Les urbanistes utilisent beaucoup les *Systèmes d'Information Géographiques (SIG)* pour analyser les couches d'information qui se chevauchent au sein d'un même paysage. Ils construisent des bases de données détaillées pour des réseaux électriques, des systèmes d'eaux pluviales et d'eaux d'égout, des réseaux de transport, etc. - ce qui leur permet souvent d'exécuter des simulations de ces systèmes interconnectés de façon à développer des architectures *de ville intelligente*.

La question d'un juste équilibre entre la densité urbaine et l'agriculture dans l'arrière-pays, alors que les zones rurales deviennent étroitement liées à la

planification des villes, est particulièrement préoccupante. Là encore, il s'agit d'un domaine pour lequel l'intégration de processus à large échelle dans le système entier devient essentielle pour l'obtention de résultats synergiques.

L'impact du changement d'utilisation des sols et de la diminution en eau menace souvent la productivité des terres agricoles. Dans de tels cas, le conflit entre ces intérêts est un frein important au développement urbain, exacerbé en partie par le manque de prévoyance et de compréhension suffisantes de ces questions étroitement liées.



Pour mener à bien leur travail plus efficacement, les administrateurs municipaux et les planificateurs régionaux bénéficieraient grandement de la représentation intégrée de questions complexes imbriquées.

Quelques clients de ICES

Un ensemble varié d'agences gouvernementales, d'ONG, d'institutions de recherche, et de compagnies commerciales tireront un avantage direct des produits de ICES. La Fondation ICES a été très bien accueillie lors de conférences internationales récentes et de présentations auprès de laboratoires de recherche académiques et privés. Des déclarations de soutien confirment le besoin d'une institution de type ICES, et reconnaissent les bénéfices actuels possibles que celle-ci pourrait apporter à une large communauté d'organisations internationales. Alors que ces organisations approfondiront leurs connaissances, les transmettront au public et sensibiliseront celui-ci, ce public en bénéficiera à son tour.

Dr Ghassem Asrar, Directeur du World Climate Research Programme (WCRP), et Dr Antonio Busalacchi, Président du Joint Scientific Committee du WCRP plaident en faveur de ICES dans leur lettre de soutien du 22 décembre 2010. Ils détaillent de la façon suivante les bénéfices possibles pour les organisations partenaires de ICES dans le monde entier:

- compréhension des causes et estimation des conséquences des événements extrêmes de basse fréquence mais avec un fort impact dans un contexte de changements climatiques;
- prise en compte d'un degré de complexité supplémentaire dans les modèles climatiques existants pour représenter les interactions entre processus connectés d'ordre biologique, géophysique, socio-économique et autres;
- amélioration significative de la résolution spatiale de l'ordre de milliers de kilomètres des champs simulés pour les projections de modèles;
- réponse au besoin urgent de prévisions à l'échelle intra-saisonnière, saisonnière, décennale et à long terme, et d'un continuum entre les échelles de temps caractéristiques de la météorologie et les échelles de temps caractéristiques du climat.

Notre meilleure chance d'offrir ces avantages est de consacrer à cet effort des moyens de calcul informatique de haute performance, en accès libre pour que les partenaires nationaux et régionaux puissent contribuer en termes de modèles numériques, d'ensembles de données, et d'expertise avancée. *Les réseaux de sciences citoyennes s'engageront aussi de plus en plus avec ICES, en particulier dans les années à venir lorsqu'ils auront gagné de l'ampleur et seront devenus plus élaborés.*

Les partenaires technologiques ont le même discours. Dr Matthias Kaiserswerth, Directeur et Vice-Président de *IBM's Nobel-Prize Winning Research*, en Suisse, l'a exprimé succinctement de cette façon: *"la mission profonde de ICES est très complémentaire de la vision de IBM d'une planète plus intelligente – et vous n'auriez pas pu choisir un meilleur moment"*. Le besoin d'encourager le calcul informatique jusqu'à l'échelle de l'ordre de l' "exa" dans la prochaine décennie et celui de répondre à des grands défis, tels que ceux de la mission de ICES, sont largement reconnus au sein de l'industrie informatique.

ICES canalisera ces activités et ces efforts, permettant que des données mondiales soient incorporées à partir de sources locales, nationales et régionales, et soient renvoyées sous la forme de résultats de simulations à ce réseau de bénéficiaires. La création de ce *centre d'opérations global* se justifie scientifiquement presque de la même façon que pour le CERN et pour ITER – atteindre les performances les plus poussées par une consolidation des ressources, tout en tissant un réseau global de collaborateurs. Un tel acte de consolidation est nécessaire pour augmenter proportionnellement la puissance de calcul informatique et la complexité de modèles requis pour atteindre le niveau d'un *simulateur Terre durable*, robuste, et complètement intégré, tel que déjà présenté en détail. Toutefois, dans notre cas, nous prévoyons que ICES sera un *partenariat public-privé* plutôt qu'une simple organisation sous contrôle gouvernemental.

Ce sont les organisations directement sur le terrain qui en bénéficieront le plus: la grande communauté des ONG internationales qui agissent pour promouvoir la sécurité des populations, leur bien-être, et le développement économique. Ces organisations comprennent une infrastructure de communication globale qui sera utile pour diffuser les découvertes scientifiques découlant des simulations ICES, et pour les traduire dans un grand nombre de contextes locaux où existe un besoin quotidien de gestion et de réduction du risque.

Ainsi, ICES est conçu pour fonctionner comme un outil communautaire, qui élève à de nouveaux niveaux le réseau global entier d'utilisateurs et de participants.

Business case de ICES

Beaucoup d'industries dépendent pour leur analyse de marché et leur stratégie commerciale d'un éclairage solide sur des perspectives futures, alors qu'elles s'efforcent d'accroître leur rentabilité dans un monde en constante évolution. A ce titre, le monde des affaires pourra tirer un grand bénéfice des résultats de simulations de ICES.

On peut citer l'exemple classique du secteur des assurances, dans lequel les coûts croissants des catastrophes naturelles

menacent le modèle d'entreprise de bon nombre de compagnies. Pour la seule année 2011, des pertes globales d'un total de 300 milliards d'euros ont été encourues, provenant d'environ 820 événements distincts⁴, établissant de nouveaux records à la hausse, et ce, pour la troisième fois de la dernière décennie.

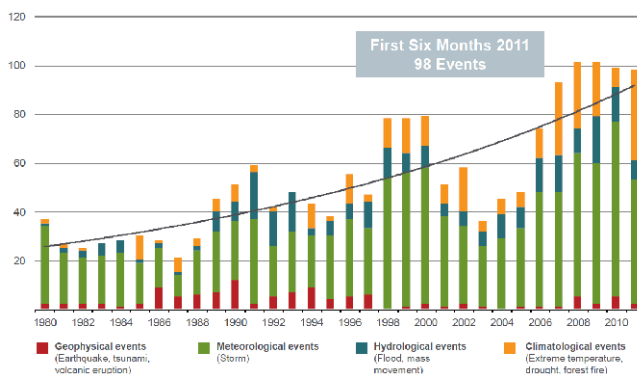
Les arguments en faveur d'une amélioration de la prévisibilité des catastrophes naturelles sont clairs: les compagnies d'assurances ont besoin de connaissances approfondies sur les changements dans la géographie des risques, y compris sur la nature dynamique des processus planétaires, puisqu'elles doivent payer les demandes d'indemnités pour des pertes de vies et de biens alors que les *coûts de construction* à eux seuls montent en flèche, dans un contexte de densité de population mondiale très forte.



Les implications pour la production d'énergie sont également évidentes. Auparavant, les compagnies pétrolières

⁴ http://www.munichre.com/en/media_relations/press_releases/2012/2012_01_04_press_release.aspx

dépendaient fortement des études géologiques pour estimer l'évolution possible du marché pour l'extraction de pétrole, de charbon, et de gaz naturel. Maintenant que les pressions pour des énergies propres et alternatives s'intensifient chaque jour, la possibilité de prévoir où les vents souffleront et l'étendue de la couverture nuageuse, est essentielle pour l'estimation du retour sur investissement dans le domaine de la production d'énergie éolienne et solaire. Dans les industries des combustibles fossiles, la *séquestration géologique du dioxyde de carbone* – une démarche qui peut devenir fondamentale pour parer aux pires impacts des changements climatiques – demande une connaissance précise des forces géologiques afin de déterminer où localiser les stocks de carbone et combien de temps ils sont susceptibles de rester en sécurité.



Les défis globaux pour la production alimentaire rendent eux aussi inestimables les produits proposés par ICES. La productivité agricole dépend des réserves en eau, de la qualité du sol et de l'ensoleillement, ainsi que de la stabilité d'une année à l'autre de tels facteurs – ces éléments étant connectés par le biais de cycles déjà mentionnés, à savoir: le cycle hydrologique, le cycle du carbone et le cycle de l'azote. En réalité, un des impacts majeurs des changements climatiques est la modification des conditions de précipitation

saisonniers et l'augmentation potentielle des inondations qui emportent la couche de surface des sols, ou dans d'autres cas, provoquent des sécheresses durables et la désertification de terres autrefois productives. L'accès à la *modélisation intégrée globalement et à haute résolution* va devenir indispensable pour que les agro-industries produisent de quoi nourrir les 9 milliards d'être humains qui, d'après les estimations, peupleront la planète avant la moitié de ce siècle.

Nous avons déjà fait allusion aux incertitudes sur les côtes associées à l'élévation du niveau de la mer dans les régions côtières, incertitudes qui ont de fortes implications sur l'estimation de l'immobilier à proximité. Une fois ajoutées à cela les complications provenant des incendies de forêt dans les terres, des crues éclair, des tremblements de terre, et la possibilité sérieuse d'importants flux migratoires relatifs au climat, alors le besoin de résultats de simulations améliorés dans une perspective intégrée devient vraiment impérieux. Les urbanistes, les entreprises de construction et les promoteurs immobiliers forment une autre catégorie de professionnels qui auront besoin d'estimer de façon précise la future valeur économique des ressources foncières.

Le business case de ICES est par conséquent très solidement ancré. Et avec l'augmentation rapide de *pratiques commerciales durables* dans le monde entier – une tendance qui va très probablement se poursuivre dans un avenir prévisible – c'est un avantage indiscutable que de disposer d'un centre de recherche et d'orientation stratégique international pour faire la démonstration des principes fondateurs de la durabilité - ceci répondrait à un large besoin et aurait une forte influence.

Le réseau de participants ICES

Le réseau de partenaires que nous envisageons de constituer pour ICES comprend un large spectre d'organismes scientifiques, d'organisations humanitaires, d'agences gouvernementales, de réseaux de sciences citoyennes et de sociétés privées. Une liste exhaustive est disponible sur notre site Internet. Cependant nous présentons dans ce qui suit des exemples typiques d'organisations qui tireraient avantage de ICES.

La première d'entre elles et la plus éminente est l'Organisation Météorologique Mondiale (OMM) basée à Genève, avec son réseau de membres de services météorologiques nationaux de haute compétence. L'OMM elle-même n'a pas, et ne prévoit pas d'avoir dans le futur, de ressources de simulation centralisées qui lui soient propres; elle dépend donc uniquement d'infrastructures de calcul contrôlées par des agences locales, nationales et régionales. Par conséquent, une infrastructure consacrée au calcul de haute performance, à proche distance, telle que ICES, et dont les efforts pourraient être selon les besoins orientés vers des événements significatifs globaux, offrirait un avantage complémentaire de taille pour l'OMM.

Bien sûr, l'importance de l'OMM et son réseau ne peut pas être exagérée, puisqu'elle fournit la collecte et la synthèse des données mondiales, et qu'elle dispose de moyens d'analyse et de communication importants, avec à son actif une expérience d'une centaine d'années de succès opérationnel.

Dans le domaine humanitaire, on peut citer les groupes basés à Genève tels que l'Organisation mondiale de la santé (OMS), la Stratégie internationale des Nations Unies pour la prévention des catastrophes (SIPC),

le Comité international de la Croix-Rouge (CICR), le Haut Commissariat des Nations Unies pour les réfugiés (HCR), et la Banque mondiale.



Dans leur combat pour suivre le rythme des changements globaux, de telles organisations auront besoin d'établir les grandes lignes de la géographie des risques pour les populations humaines d'un grand nombre de régions du monde. Il leur manque les moyens de modélisation et de simulation nécessaires pour mobiliser les ressources de la science et de la technologie au bénéfice de leurs tentatives pour promouvoir la sécurité des populations à long terme.

Il faut aussi bien sûr mentionner les institutions qui ont déjà atteint un niveau limité de compréhension du climat et de l'environnement à l'échelle globale, telles que: Hadley Centre (Royaume-Uni); Climate Services Centre, Max Planck Institutes et DKRZ (Allemagne); National Center for Atmospheric Research (NCAR, Etats-Unis); Agence Européenne de l'Environnement (AEE); Programme des Nations Unies pour l'Environnement (PNUE), World Wildlife Fund (WWF), Nature Conservancy, Global Earthquake Model et Global Carbon Project.

De telles organisations dépendent considérablement de la recherche scientifique intégrée pour orienter leur stratégie et informer leurs membres.

ICES se projette comme une infrastructure et un partenaire essentiels pour assister ces organisations dans le développement de leur politique et de leurs connaissances, en leur fournissant une vision intégrée et globale de la nature et du système Terre tout entier.

Former une communauté de spécialistes de la pensée intégrative

Nous avons déjà attiré l'attention sur les défis technologiques et scientifiques qui seront engendrés par les efforts de modélisation et de simulation globaux. Le besoin de leadership humain est tout aussi important pour s'attaquer à ces défis – à l'échelle locale, nationale et régionale.

ICES jouera un rôle fondamental pour encourager les dirigeants de demain qui peuvent prendre toute la mesure de l'ampleur des problématiques variées auxquelles l'ensemble de la planète est confrontée, et s'en faire les messagers. En outre, alors que le besoin d'expertise scientifique et technique spécialisée est toujours présent, il est de plus en plus reconnu qu'il est essentiel d'avoir plus de ressources à consacrer à une expertise transdisciplinaire, si nous souhaitons faire face à l'énorme complexité de la modélisation intégrative à tous les niveaux.

A cet égard, la prochaine génération de dirigeants et de décideurs aura besoin d'un niveau bien plus poussé de *pensée intégrative* que ce qui filtre à travers notre société aujourd'hui. Ces efforts dans le milieu académique pour synthétiser des domaines de recherche en dépassant les frontières disciplinaires, aussi louables soient-ils, sont

restés très limités à ce jour, du fait du manque de ressources institutionnelles. ICES comblera cet écart en fonctionnant comme une base de recherche, un forum d'orientation stratégique, et un réseau en libre accès pour des étudiants de troisième cycle, des chercheurs postdoctoraux, des scientifiques professionnels, et pour des acteurs de la décision politique.



En résumé, ICES va contribuer très rapidement à la mise sur pied d'une infrastructure pour l'intégration des sciences du système Terre, avec entre autres:

- la modélisation numérique, le développement d'algorithmes, et l'analyse des données massives;
- l'architecture de systèmes informatiques, l'assimilation et la réanalyse de données;
- les technologies de visualisation interactive de données et de communication.

Et dans une future étape, la compréhension des liens entre le domaine socio-économique et les sciences de la Terre, en particulier dans les domaines de la santé, de l'alimentation et de l'agriculture, de la pollution, de la durabilité, des transports, ainsi que l'orientation des politiques publiques pour l'atténuation des risques et la gestion des catastrophes.

ICES fournira des infrastructures pour la recherche, des possibilités de bourses d'études, et des outils éducatifs pour la vague croissante des universitaires et des chercheurs qui rapprochent les disciplines au-delà des frontières traditionnelles de la connaissance. Entretenir cette capacité humaine est une composante essentielle de notre mission.

Pourquoi nous avons besoin d'un acteur non-gouvernemental

Le positionnement de ICES en-dehors du secteur public mérite quelques éclaircissements. Nous expliquons dans ce qui suit nos motivations, dans le contexte actuel où les *sciences du système Terre* s'appuient presque exclusivement sur des départements gouvernementaux, et sur les institutions et organismes académiques affiliés.

Le cas le plus évident est peut-être celui du Japon et de son *Yokohama Earth Simulator (YES)*, déjà mentionné, qui offrait à ses débuts des équipements très compétitifs avec la machine de calcul la plus puissante de l'époque. Il se montra pourtant incapable de se maintenir à cette place, selon nous parce qu'il dépendait uniquement du financement du gouvernement japonais. Hébergé par le Japan Agency for Marine-Earth Science & Technology (JAMSTEC), YES était installé dans une structure qui n'était pas spécifiquement conçue pour travailler *transversalement et de façon intégrative et globale*. Ces deux facteurs ont eu un impact négatif sur l'efficacité de cette tentative.

Nous sommes évidemment tout à fait satisfaits de ce que le Japon ait eu l'intelligence d'ouvrir la voie et de guider ses scientifiques jusqu'à cette première étape. Néanmoins, le résultat de cette expérience plaide en faveur d'un effort vraiment global - exactement ce que nous cherchons à accomplir avec ICES – d'autant plus clairement. *Construire une infrastructure pour la simulation globale dépasse les frontières nationales et les budgets. C'est un projet trop cher excepté pour quelques pays, chacun étant confronté à ses propres réalités politiques qui compliquent les tentatives les plus déterminées.* Et comme l'a montré la récession économique globale de 2008-2012, de grands projets peuvent être compromis de façon significative par les compressions budgétaires des gouvernements nationaux.

A un autre niveau, le Groupement International des Experts du Climat (GIEC), parrainé par les Nations Unies, est une organisation très réputée qui amène les différents pays à coopérer autour d'un défi écologique global. Alors que le GIEC est parvenu de façon admirable à établir parmi les scientifiques un consensus fort à propos des impacts des activités humaines sur les changements globaux, il adopte une démarche politique d'inclusion large (par exemple, en attribuant un poids égal à tous les modèles soumis, quelle que soit leur valeur), et ceci est une source de distorsion potentielle pour les résultats les plus importants pour les décideurs, tels que *l'élévation du niveau de la mer et la sensibilité du climat à un doublement de CO₂*.

Il est clair que les pays qui participent au GIEC cherchent à l'influencer politiquement dans le sens de leurs intérêts nationaux. L'échec du protocole de Kyoto en 1997, et les retards pris lors des Conférences des Parties 15, 16, 17 à Copenhague, Cancún et Durban respectivement, révèlent toute la dimension de ce défi, alors que les priorités nationales ont beaucoup à gagner et que le consensus international se montre difficile à atteindre. *Il y a en fait un besoin énorme d'indépendance, d'intégrité et de neutralité pour faire en sorte que cet effort fondamental progresse au nom de la communauté internationale entière.*

Des dynamiques politiques similaires se retrouvent à l'échelle du fonctionnement des pays individuels, où les agences gouvernementales nationales se font concurrence pour la légitimité et les budgets de dépenses, rendant difficile une collaboration transversale durable entre collègues de différents "compartiments" de recherche. Aux Etats-Unis par exemple, les départements opérationnels de la NOAA, NASA, NSF, USGS, EPA, DOC, DOI, DOE et DOD se recoupent de façon significative, mais il n'existe pas de stratégie claire pour intégrer leurs vastes systèmes de recherche en sciences de la Terre sans menacer leurs sources de revenus et sans provoquer de réaction politique brutale de la part de l'ensemble des groupes d'intérêts.

Je suis un fervent partisan des partenariats public-privé. Ils sont difficiles à mettre en oeuvre, mais lorsqu'ils sont réussis, ils sont extrêmement bien réussis.

- John T. Chambers, Chairman et CEO de Cisco Systems

Pour toutes ces raisons, ICES n'approche pas les agences gouvernementales pour leur demander un financement direct – par peur de contribuer encore plus à ces conflits. En revanche, ICES fonctionnera comme une *entreprise indépendante, à but non lucratif, non-gouvernementale*, où les contributions philanthropiques peuvent être utilisées directement – évitant ainsi les situations de conflits d'intérêts fréquentes dans le secteur public, qui se sont montrées être des barrières à l'intégration scientifique

internationale et interdisciplinaire. Mais comme d'un autre côté ICES dépendra très fortement de données gouvernementales et de contributions scientifiques, il choisit le statut de *partenariat public-privé*.

L'héritage de l'industrie spatiale privée

Nous ne sommes bien sûr pas les premiers à utiliser cette stratégie. L'émergence d'une industrie spatiale dynamique dans le secteur privé montre comment des entités non-gouvernementales peuvent amener les progrès technologiques à répondre à un ensemble ambitieux d'objectifs globaux. Des décennies de soutien gouvernemental ont favorisé le développement d'un environnement industriel dans lequel un grand nombre *d'entreprises commerciales à but lucratif* ont récemment apparus, avec entre autres la formation de compagnies proposant des satellites en orbite basse, des véhicules spatiaux, des installations de lancement, et toute une série de solutions spatiales spécialisées.

En collaborant souvent de façon étroite avec des agences gouvernementales, ces compagnies privées complètent les efforts publics en apportant agilité et concentration sur les objectifs, en plus de développements technologiques synergiques. La Fondation X Prize occupe maintenant une position charnière d'incubateur d'innovation pour les technologies de la prochaine génération; elle s'est rendue célèbre en soutenant le démarrage de *l'industrie du tourisme spatial privé*. La compagnie *Virgin Galactic* de Richard Branson offre maintenant la possibilité de voyager dans l'espace à un public plus large que celui des programmes spatiaux du secteur public. Les convois de ravitaillement pour la maintenance de la *Station Spatiale Internationale* seront très probablement assurés par un entrepreneur privé jusqu'à la fin de cette décennie.

C'est dans le secteur des activités non-gouvernementales, grâce à ses liens étroits avec les agences publiques, que se prépare la "potion magique". Nous prévoyons que ICES fonctionnera de manière similaire, en se positionnant en-dehors du secteur public tout en étant fortement connecté avec les agences gouvernementales – apportant flexibilité, agilité, et forte réactivité, à cette époque de phénomènes violents, de défis et de menaces multiples et à grande échelle.

Notre modèle de partenariat public-privé

La Fondation ICES prévoit de fonctionner comme un *Partenariat Public-Privé à but non lucratif (PPP)*, basé physiquement à Genève ou à proximité, en Suisse. Elle sera de manière efficace le "CERN de la durabilité" - une infrastructure de recherche de classe mondiale, en liaison avec le secteur politique, offrant des possibilités de collaboration avec des scientifiques et des preneurs de décision à l'échelle mondiale. La Suisse elle-même est reconnue pour ses perspectives internationales et sa sensibilité aux questions humanitaires, mais aussi peut-être encore plus pour sa *neutralité de longue date*. Elle offre par conséquent un environnement idéal pour héberger les opérations de ICES.

Nous avons choisi cette structure *PPP* comme le moyen de nous aider à établir des liens étroits avec les institutions publiques, tout en recherchant en même temps des sources de financement privé. Les règles strictes du gouvernement fédéral en matière de responsabilité publique des fondations basées en Suisse imposent à ICES de fonctionner avec la plus grande intégrité dans l'accomplissement de sa mission au nom de la communauté internationale et de

ses donateurs. Dans le cadre des collaborations de ICES avec d'autres agences gouvernementales à travers le monde, cette surveillance par les autorités suisses sera très utile pour établir des relations de confiance à l'étranger.

Des partenariats stratégiques autour de la vision d'ensemble de ICES sont actuellement en train d'être montés, avec des institutions telles que le WCRP, l'Université de Genève, Institute of Global Environment and Society (IGES), l'Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL), le CERN et le laboratoire de recherche IBM basé en Suisse, tous d'un très grand soutien. Nous avons passé les deux dernières années à monter et à présenter le projet ICES lors de nombreuses conférences internationales, à des universités et à des centres de recherche, et nous sommes à présent prêts à lancer ICES en tant que plateforme opérationnelle.

C'est tout à fait le moment propice pour lancer la prochaine étape de la progression de ICES et nous sommes prêts à recevoir des financements et à développer le réseau complet de nos principaux partenaires. *Au cours de la première partie de 2012, nous projetons d'approcher des donateurs fondateurs et d'atteindre le capital d'amorçage pour la mise sur pied opérationnelle.* Ce sera la première étape modeste d'une longue succession, et avant la fin de cette décennie, nous prévoyons pour ICES un budget annuel de dépenses pour les opérations de 40 millions d'euros, ainsi qu'un personnel scientifique et technique d'environ 200 personnes au total, un grand nombre d'entre elles étant détachées par des organisations partenaires. Ce budget de dépenses pour les opérations sera compensé par diverses sources de revenus.

Comment ICES atteindra la viabilité financière

Notre source de revenus ne se limitera pas seulement à des dons philanthropiques pendant la durée de notre mission à long terme. De nombreux autres moyens de recettes seront disponibles pour ICES, par exemple le mécénat, les contrats de services professionnels, les licences de brevets, et la vente de temps de calcul en tant que société de services. Nous envisageons diverses sources de recettes, qui résulteraient de la livraison de connaissances adaptées, à forte valeur ajoutée, dans un contexte de changements globaux tumultueux, tandis même que ICES entretiendra une politique de science "ouverte", de codes "open source", d'accès libre aux fichiers de données, et de publication en libre accès. Nous nous attendons à ce qu'en fin de compte, ces sources de recettes compensent pour un tiers nos dépenses annuelles de fonctionnement.



Nous espérons couvrir le second tiers de nos dépenses avec un "contrat d'impact social sous condition de réussite". Cet instrument financier, bien qu'étant un nouvel outil pour les organisations non-gouvernementales, est très prometteur pour les années à venir.

Bien sûr, d'abord et avant tout, la mission de l'entité ICES est de servir le bien public. Nous garantirons l'intégrité de cette mission grâce à un contrôle exécutif, des critères élevés d'audit financier, et la surveillance fédérale suisse. Ceci dit, pour des secteurs d'industrie ayant des besoins en recherche spécialisée, dans le cas où les valeurs de ces secteurs seraient en plein accord avec celles de notre mission - intégrité, vision à long terme, approche favorisant la science "ouverte" - alors nous serons tout disposés à proposer des contrats de recherche à ces secteurs.

Comment aider ICES

Il est maintenant temps de passer de cette vision courageuse à l'action. L'équipe ICES établira des alliances stratégiques avec des soutiens financiers, des fournisseurs de technologie, et des partenaires de recherche pendant toute l'année 2012. Vous pouvez apporter votre contribution en attirant notre attention sur de potentielles sources de financement, en nous adressant des lettres de soutien, et en mobilisant vos réseaux pour attirer la masse critique de personnes et de ressources nécessaires pour faire du centre ICES une réalité.

Jamais auparavant les besoins n'ont été aussi grands ni les opportunités si proches. Le monde réclame une toute nouvelle institution qui fonctionne à la même échelle globale que les menaces convergentes, et qui puisse affronter les défis complexes d'aujourd'hui et des décennies à venir. Le monde a besoin de ICES – un Centre International de Simulation du système Terre.

Conseil d'administration de ICES

1. Bob Bishop, Président
2. André Kaplun, Conseiller et Secrétaire
3. Julien Pitton, Conseiller et Trésorier

Comité d'experts de ICES

1. Dr Ghassam Asrar, Directeur du World Climate Research Programme
2. Professeur Martin Béniston, (Université de Genève), Directeur du Groupe de Recherche sur le Climat et de l'Institut des Sciences de l'Environnement
3. Professeur Michael Rast (Ludwig-Maximilians-Universität), Terrestrische Fernerkundung, Fakultät für Geowissenschaften et Agence Spatiale Européenne, Head of Science Strategy, Coordination & Planning Office (EOP-SA).
4. Professeur Michael E. Schaepman (Universität Zürich), Ordentlicher Professor in Fernerkundung am Geographischen Institut; Direktor des Forschungsschwerpunktes 'Globaler Wandel und Biodiversität'.
5. Professeur Jagadish Shukla (George Mason University), Climate Dynamics et Président de Institute of Global Environment and Society

Ambassadeur extraordinaire de ICES

Professeur Jean-Claude Badoux, Ancien Président de l'EPFL (Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne)

Conseillers de ICES

1. Hans Derksen, Conseiller pour l'industrie
2. Edwin Douglass, Conseiller financier

Fournisseurs de services financiers pour ICES

1. UBS: Services bancaires
2. PricewaterhouseCoopers: Organe de révision

Illustration de la première page de couverture

Le logo ICES inclut le pétroglyphe anasazi, connu sous le nom de *poignard du soleil*, sculpté sur un côté de la butte Fajada du Chaco Canyon, au Nouveau-Mexique. Ce calendrier ancien est composé de trois pierres verticales; la lumière du soleil que laissent passer les intervalles entre ces pierres se projette sur une spirale sculptée dans un rocher; elle marque le passage du temps, avec des positions uniques pour les solstices et les équinoxes. Le poignard du soleil était utilisé pour suivre les saisons et pour guider les pratiques agricoles d'une civilisation avancée qui dépendait pour sa survie d'une connaissance approfondie de la planète en changement. Dans un esprit similaire, ICES s'efforce de canaliser les efforts de mise en lumière des mécanismes cachés qui contrôlent notre Terre en évolution.

Illustration de la dernière page de couverture

Ce montage ICES a été créé par Tony et Bonnie DeVarco pour la Fondation ICES avec la permission d'autorisation d'utilisation des images satellitaires de Earth Observatory de la NASA. Le diagramme de l'encart est une version simplifiée de l'*Arbre de vie*, qui montre les noms communs des principaux groupes d'organismes du vivant. Cette version de l'arbre se base sur *Tree of Life appendix in Life: The Science of Biology*, 8th ed., par D. Sadava, H. C. Heller, G. H. Orians, W. K. Purves, and D. M. Hillis (Sinauer Associates and W. H. Freeman, 2008). Les autres encarts comprennent le poignard du soleil et l'analemme. La constellation des Pléiades apparaît dans le fond de l'image.

Sources des autres illustrations

1. Vue de la Terre - hémisphère Est, Source: NASA (couverture intérieure)
2. Tsunami japonais de 2011, Source: <http://www.thesun.co.uk/> (page 2)
3. Tornade, Source: http://www.sema.dps.mo.gov/plan_and_prepare/tornadoes.asp (page 2)
4. Concentrations de glaces de mer, CCSM, Source: NCAR (page 6)
5. Visualisation du système Terre-Soleil, Metanoiaa ©2006-2012 (page 10)
6. Vue de la Terre - hémisphère Ouest, Source: NASA (page 13)
7. Inclinaison de l'axe de la Terre, Source: <http://www.tectonic-forces.org> (page 13)
8. Vent solaire, Source: NASA <http://sec.gsfc.nasa.gov/popscise.jpg> (page 14)
9. Tsunami japonais de 2011, Source: Kyodo News/Associated Press (page 16)
10. Explosion de Fukushima, Source: AFP/Getty Images (page 16)
11. Ecocité de Tianjin, Source: <http://www.smartplanet.com> (page 18)
12. "Urban Renewal", Chine, Source: Edward Burtynsky (page 19)
13. Diagramme de la fréquence des catastrophes naturelles, Source: MunichRE (page 22)
14. Bâtiment ICES, Source: Burckhardt + Partner SA (page 28)

Centre International de Simulation du système Terre