



LES NOUVEAUX SCÉNARIOS UTILISÉS PAR LE GIEC : QUELQUES CLÉS POUR COMPRENDRE

SYNTHÈSE DU SÉMINAIRE DU 23 NOVEMBRE 2011, PARIS

Annoncé pour 2014, le Cinquième rapport du Groupement d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC AR5) suscite par anticipation un vif intérêt dans la communauté scientifique, le monde économique et la société civile. En attendant sa publication, il était possible de découvrir les nouveaux scénarios qui seront utilisés pour construire les modèles socio-économiques et climatiques le 23 novembre dernier à Paris, lors d'une conférence-débat organisée par le programme GICC Gestion et Impacts du changement climatique. Stéphane Hallegatte et Serge Planton ont présenté devant plus de 250 personnes les nouveaux concepts, les scénarios en construction et l'état d'avancement des nouvelles simulations qui seront réalisées pour le 5^{ème} rapport d'évaluation du GIEC.

Compte-rendu en sept questions.

LES INTERVENANTS

® Stéphane Hallegatte, spécialiste Changement climatique, Banque mondiale, CIREDD et Météo-France

Économiste et chercheur en sciences sociales, il travaille sur les sujets du changement climatique et des événements extrêmes. Enseignant notamment à l'École nationale de météorologie, à Sciences Po Paris, à l'Université Dauphine, à AgroParisTech, à la Normal University (Beijing, China), spécialiste du changement climatique à la Banque mondiale, il a publié de nombreux articles dans le domaine de l'économie du changement climatique. Il est auteur principal du GIEC au sein du Groupe de travail 2.



® Serge Planton, Responsable de l'unité de recherche sur le changement climatique à Météo-France

Polytechnicien, diplômé de l'école nationale de météorologie, il est ingénieur général des ponts, des eaux et des forêts. Responsable du groupe de recherches climatiques du Centre national de recherches météorologiques - Groupes d'Etudes de l'Atmosphère météorologique (CNRM-GAME), il a notamment contribué au développement du modèle de Météo-France utilisé pour réaliser des scénarios climatiques. Contributeur au GIEC, il participe à plusieurs projets de recherche nationaux et européens sur la modélisation du climat, et la détection/ attribution du changement climatique.



LE CINQUIÈME RAPPORT DU GIEC SE BASERA SUR UN JEU DE SCÉNARIOS ENTIÈREMENT REPENSÉ. POURQUOI ?

Le Groupe intergouvernemental GIEC a été créé en 1988 pour évaluer les fondements scientifiques du changement climatique et des risques liés, cerner les conséquences de ce changement et envisager des stratégies d'atténuation des émissions de gaz à effet de serre (GES) et des stratégies d'adaptation. Pour analyser le futur du changement climatique, le GIEC a vite éprouvé le besoin de raisonner sur la base de scénarios socio-économiques partagés, dit SRES pour Special Report on Emissions Scenarios. Ces scénarios ont été définis à la fin des années 1990 et diffusés en 2000.

Depuis les années 2000, la Terre a continué de tourner. Les déterminants socio-économiques (économie, technologies, politiques publiques) et la connaissance du système climatique ont bien évolué. Et les outils du GIEC devaient être mis à jour pour prendre en compte ce nouveau contexte.

"Par exemple, nous n'avions pas inclus la possibilité d'un développement aussi rapide des pays émergents", indique Stéphane Hallegatte. Dans le même temps, les projections démographiques globales ont été revues à la baisse, de 14 milliards d'humains à 10 milliards à l'horizon 2100. Ces quinze dernières années ont aussi vu, à l'échelle mondiale, l'adoption de politiques climatiques dont il est désormais nécessaire d'intégrer les effets sur la réduction des émissions (ce que les scénarios précédents ne faisaient pas) et les rétroactions des systèmes considérés (impacts et adaptation).

Enfin, il est aujourd'hui envisagé d'avoir des évolutions en "cloche" des émissions globales, qui diminuerait après une phase de croissance au 21^e siècle : pour prendre en compte ces tendances, certains scénarios seront portés jusqu'à l'horizon 2300.

En outre, contrairement aux scénarios SRES, les nouveaux scénarios ne seront pas créés par le GIEC lui-même, mais seront fournis par la communauté scientifique pour les besoins du GIEC.

CES NOUVEAUX SCÉNARIOS SONT DE TROIS TYPES DISTINCTS : SCÉNARIOS DE "FORÇAGE RADIATIF", SCÉNARIOS SOCIO-ÉCONOMIQUES, SCÉNARIOS CLIMATIQUES. QUE RECOUVRENT-ILS, ET COMMENT S'ARTICULENT-ILS ENTRE EUX DANS L'ANALYSE DU GIEC ?

Au-delà de la conception de scénarios nouveaux, c'est un véritable virage méthodologique qu'opère la communauté scientifique. Auparavant, l'analyse était menée en suivant une logique linéaire. La réflexion partait d'un faisceau de "futurs possibles" pour nos sociétés, intégrant une vaste palette de déterminants -- évolutions des économies nationales, offre technologique, choix énergétiques, démographie, changements dans les comportements individuels... *"Ces scénarios SRES étaient organisés en quatre familles désormais bien connues, précise Stéphane Hallegatte : A1, A2, B1, B2"*. Traduits en émissions de gaz à effet de serre, ils alimentaient une chaîne de modèles pour aboutir à des projections d'évolution climatique globales ou

régionales. Ces scénarios climatiques étaient enfin réinjectés dans des modèles d'impacts permettant de simuler les effets du climat sur les écosystèmes ou les vecteurs de maladies par exemple.

Pour gagner en rapidité et en réactivité, la communauté scientifique applique désormais une méthode différente. Les scientifiques ont défini *a priori* quatre scénarios d'émissions de gaz à effet de serre, les RCP (*Radiative concentration pathways*). À partir de ces scénarios de référence, les équipes travaillent simultanément et en parallèle : les climatologues produisent des projections climatiques utilisant les RCP comme entrée, tandis que les socio-économistes élaborent des scénarios socio-économiques débouchant sur des scénarios d'émissions, à comparer aux RCP. Cette méthode peut être schématisée par le diagramme de la figure 1.

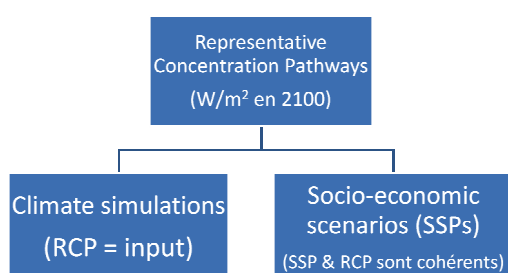


Fig 1 : Élaboration en parallèle des scénarios climatiques et socio-économiques : le process de Noorwijkerhout (simplifié)

TOUT L'ÉDIFICE REPOSE DONC SUR QUATRE SCÉNARIOS DE RÉFÉRENCE POUR L'ÉVOLUTION DES CONCENTRATIONS EN GAZ À EFFET DE SERRE, FIXÉS A PRIORI. QUELS SONT CES RCP ET COMMENT ONT-ILS ÉTÉ DÉTERMINÉS ?

Les RCP sont des scénarios de référence de l'évolution du forçage radiatif sur la période 2006-2300. Au nombre de quatre, "pour éviter la tentation de désigner un scénario médian", explique Serge Planton, ils ont été sélectionnés par les scientifiques sur la base de 300 scénarios publiés dans la littérature. Associés à des trajectoires d'évolution des concentrations des différents gaz à effet de serre et de l'occupation des sols, ils ont été décrits par Moss et al. (Nature, 2010) – voir tableau 1. Le RCP 8.5, le plus pessimiste, n'est dépassé que par environ 10% des hypothèses envisagées, tandis que le plus favorable, le RCP 2.6, ne dépasse que près de 10% d'entre elles.

| Nom | Forçage radiatif | Concentration (ppm) | Trajectoire |
|---------|---|--|--------------------------------|
| RCP 8.5 | >8,5Wm ⁻² en 2100 | >1370 eq-CO ₂ en 2100 | croissante |
| RCP 6.0 | ~6Wm ⁻² au niveau de stabilisation après 2100 | ~850 eq-CO ₂ au niveau de stabilisation après 2100 | Stabilisation sans dépassement |
| RCP 4.5 | ~4,5Wm ⁻² au niveau de stabilisation après 2100 | ~660 eq-CO ₂ au niveau de stabilisation après 2100 | Stabilisation sans dépassement |
| RCP 2.6 | Pic à ~3Wm ⁻² avant 2100 puis déclin | Pic ~490 eq-CO ₂ avant 2100 puis déclin | Pic puis déclin |

Tableau 1 : les quatre RCP (Moss et al., Nature, 2010)

Qu'est ce qu'un forçage radiatif ?

Exprimé en W/m^2 , un forçage radiatif est un changement du bilan radiatif (rayonnement descendant moins rayonnement montant) au sommet de la troposphère (10 à 16km d'altitude), dû à un changement d'un des facteurs d'évolution du climat – comme la concentration des gaz à effet de serre.

Une comparaison avec les anciens scénarios SRES (voir fig.2) montre que le RCP 8.5, scénario extrême, est un peu plus fort que le SRES A2 – il aboutirait à un réchauffement global pouvant atteindre $12^{\circ}C$ en 2300 (selon une projection climatique récente), le RCP 6 est proche du SRES A1B, tandis que le RCP 4.5 est proche du SRES B1. "Le seul scénario sans équivalent est le RCP2.6", souligne Serge Planton : il intègre les effets de politiques de réduction des émissions susceptibles de limiter le réchauffement planétaire à $2^{\circ}C$.

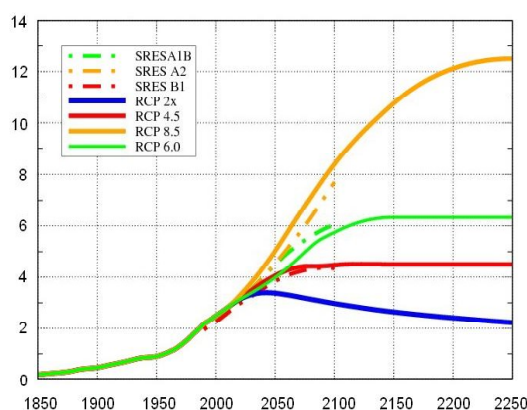


Fig 2 : les quatre RCP, évolution du forçage radiatif et comparaison avec les SRES

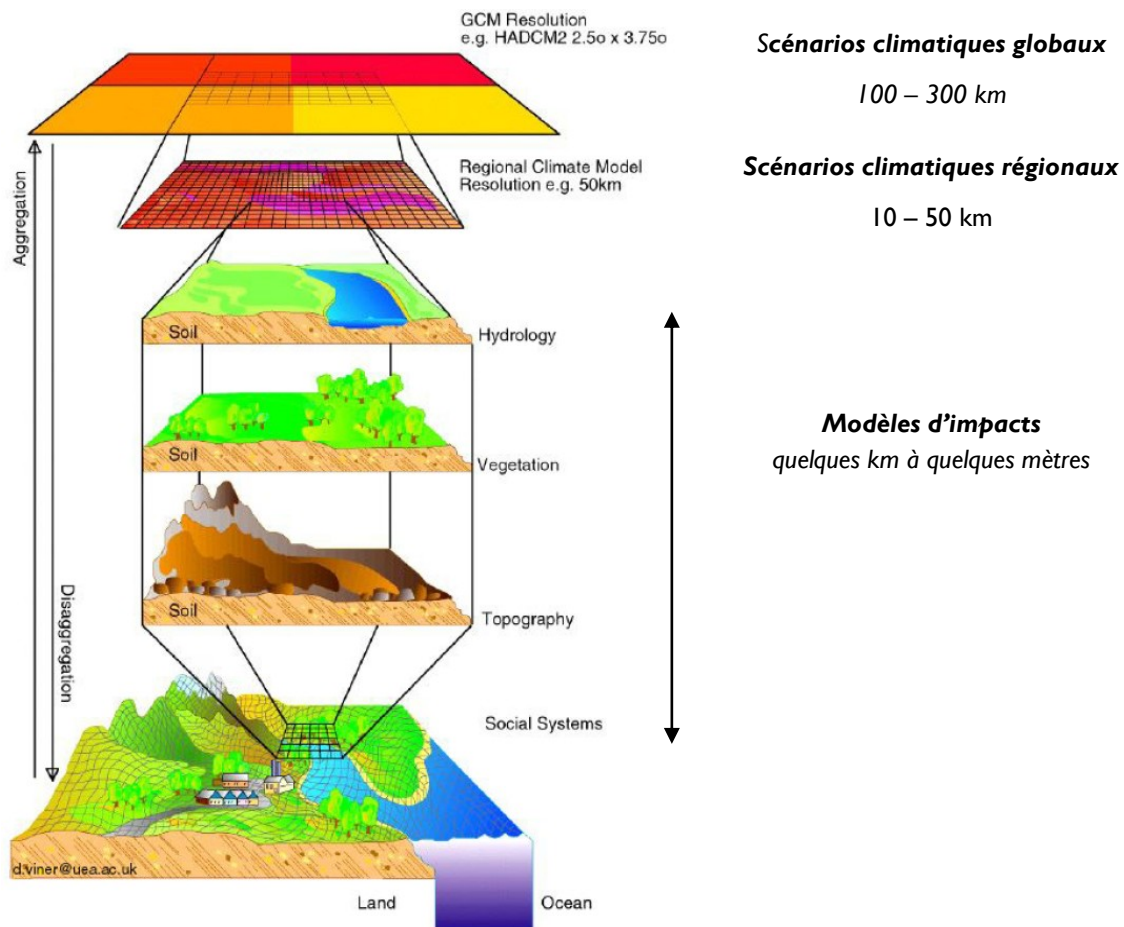
LE SYSTÈME CLIMATIQUE EST RÉGI PAR UN ENSEMBLE D'ÉQUATIONS COMPLEXES, ISSUES NOTAMMENT DE LA MÉCANIQUE DES FLUIDES, QUE L'ON NE PEUT RÉSOUDRE QUE DE MANIÈRE APPROCHÉE PAR L'UTILISATION DE MODÈLES NUMÉRIQUES. DANS LA PERSPECTIVE DE LA PUBLICATION DE L'AR5, QUELLES SONT LES AMÉLIORATIONS APPORTÉES À CES MODÈLES ?

Les modèles utilisés par les scientifiques pour le GIEC évoluent continuellement pour intégrer de manière toujours plus complète les mécanismes qui régissent le climat – par exemple, certaines simulations en cours pour l'AR5 prennent mieux en compte les contributions de la banquise et de la végétation, ou l'impact de la chimie des aérosols, même si des marges de progrès existent encore. Ainsi, aucun de ces

outils n'intègre actuellement les effets de l'augmentation des feux de forêts (qui dégagent du CO_2) ou le dégel des pergélisols (qui dégagent du CH_4).

Autre évolution importante : la **résolution spatiale** des modèles s'améliore. Certains d'entre eux présentent un nombre de niveaux verticaux plus important, mais la plupart progressent surtout en résolution horizontale, avec un nombre de mailles plus grand (par exemple, les modèles français présentent un maillage horizontal deux fois plus dense que lors de la préparation du précédent rapport du GIEC). "Cette évolution est essentielle pour la régionalisation des projections, rappelle Serge Planton : les modèles globaux, qui ont classiquement une résolution de 100 à 300 km ne permettent pas d'obtenir des projections détaillées, permettant d'anticiper localement des impacts ou de définir des politiques d'atténuation". Cette nécessaire **descente d'échelle** se traduit par le développement d'un nombre croissant de modèles régionaux, qui affichent une résolution de 10 à 50 km et prennent en compte toujours plus finement la topographie. Ces modèles sont eux-mêmes relayés par des modèles d'impact ou d'adaptation locaux, d'une résolution de l'ordre du kilomètre (Figure 3.).

Figure 3. Échelles des différents scénarios et modèle utilisés dans la descente d'échelle



Au final, le nombre total de modèles augmente : de 15 groupes et 23 modèles pour l'AR4, on utilisera désormais une cinquantaine de modèles mis en œuvre par 23 groupes dont sept européens. "Deux modèles sont développés par la communauté scientifique française, précise Serge Planton : CNRM-CM5 (Météo-France et CERFACS) et IPSL-CM5 (Institut Pierre Simon Laplace)."

Dans l'optique de l'AR5, le CMIP (*Coupled Model Intercomparison Project*) qui structure les travaux des climatologues est désormais dans sa phase 5 (CMIP5), avec des ambitions nouvelles. Il s'intéresse à davantage de questions scientifiques, intègre des scénarios de politique climatique d'atténuation et initie des simulations d'étude de la prévisibilité décennale (voir encadré). Grâce à ce projet, les résultats des simulations du climat passé et futur sont rendus directement accessibles dans une base de données distribuée au niveau international. En complément à CMIP5, le programme Cordex (*Coordinated Regional Downscaling Experiment*) définit aussi un cadre général pour la régionalisation des scénarios climatiques qui seront rendus accessibles pour analyse dans des bases de données internationale.

En France, une volonté similaire a conduit les climatologues à proposer le portail internet DRIAS (Donner accès aux scénarios climatiques régionalisés français pour l'impact et l'adaptation de nos sociétés et environnements). Ce service développé avec l'appui du programme GICC sera opérationnel mi-2012 et permettra aux utilisateurs de visualiser des projections et scénarios climatiques régionalisés sur la France, et de commander des données ciblées.

Prévisions décennales : quel temps fera-t-il dans 10 ans ?

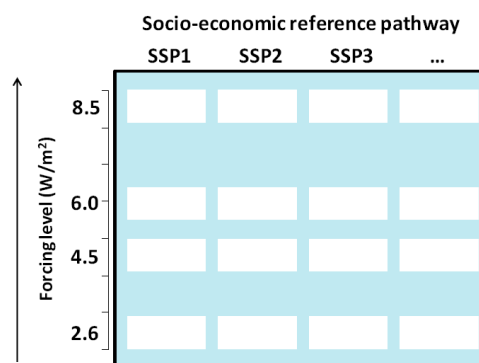
Un axe de recherche prometteur en climatologie concerne l'obtention de *prévisions* décennales – et non plus de projections. Il s'agit ici de prévoir le climat pour les cinq à trente années à venir, à partir d'un état initial comme on le fait déjà à l'échelle de la saison. Outre le bénéfice évident qu'en tireraient les gestionnaires, cette possibilité intéresse de très près les climatologues : elle permettrait de réduire significativement les incertitudes qui entachent le résultat des modèles, en leur fournissant des conditions initiales plus précises pour les premières années de calcul. De telles prévisions sont désormais envisageables même si cela reste un sujet de recherche. Les premiers retours d'expérience, attendus pour 2014, donneront de bonnes indications quant à leur faisabilité.

EN PARALLÈLE AUX TRAVAUX DES CLIMATOLOGUES, LES SOCIO-ÉCONOMISTES S'EMPLOIENT À ÉVALUER LES COÛTS D'ADAPTATION ET DE MITIGATION LIÉS AU CHANGEMENT CLIMATIQUE, SELON LES ÉVOLUTIONS POSSIBLES DE NOS SOCIÉTÉS, EN RÉFÉRENCE AUX QUATRE RCP PRÉCITÉS. COMMENT CETTE ANALYSE EST ELLE CONDUITE ?

La méthode générale a été définie par un article de référence disponible en ligne (<http://www.isp.ucar.edu/socio-economic-pathways>), "dont la consultation est réservée aux plus motivés", s'amuse Stéphane Hallegatte, l'un des auteurs. Le principe repose sur une architecture "en matrice", qui décline,

pour chaque scénario d'évolution socio-économique (SSP1, SSP2, etc.), les efforts à consentir à l'échelle mondiale pour parvenir aux forçages radiatifs correspondant à chaque RCP (voir figure 4).

Fig. 4 : l'évaluation des coûts des différentes évolutions socio-économiques possibles (SSP) au regard des RCP – une architecture "en matrice".



Cette approche novatrice a la particularité d'isoler la décision prise du point de vue du climat de toutes les autres décisions. Lue horizontalement, la matrice permet de comparer les conséquences d'un même changement climatique dans différents scénarios socio-économiques. Lue verticalement, elle permet de comparer le coût de politiques d'atténuation qui atteignent la même "cible" de forçage, dans différents scénarios socio-économiques.

Mais, pour une cible de forçage donnée, il faut ajouter aux coûts d'atténuation les coûts d'adaptation ainsi que des coûts liés aux impacts résiduels (dégradations écosystémiques, inconfort lié à la température...). Pour appuyer la décision, la même logique matricielle pourra être appliquée en déclinant, pour un SSP donné, différents niveaux d'intensité dans les politiques d'adaptation (voir figure 5).

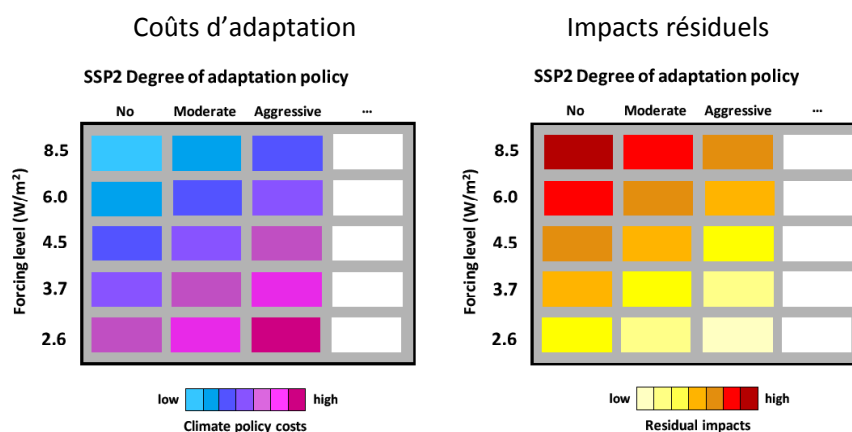


Fig. 5 : Pour un scénario socio-économique donné, évaluation "en matrice" des coûts de différentes politiques d'adaptation et des impacts résiduels

POUR TIRER PARTI DE CETTE APPROCHE AMBITIEUSE, IL FAUT DISPOSER D'UN JEU DE SCÉNARIOS SOCIO-ÉCONOMIQUES (SSP) DÉCRITS PRÉCISÉMENT, COUVRANT AU MIEUX LES DIFFÉRENTS FUTURS POSSIBLES DE NOS SOCIÉTÉS. COMMENT CES SCÉNARIOS SONT-ILS CONÇUS ?

Cette partie du travail est aujourd'hui nettement moins avancée que la modélisation climatique. Les SSP seront utilisés pour évaluer des politiques sur le changement climatique. Pour cela, il est important que ces SSP couvrent une large gamme de futurs possibles, en se répartissant selon deux axes : l'un représentant la capacité d'adaptation des sociétés au changement climatique, l'autre représentant leur capacité à atténuer les émissions de gaz à effet de serre. Suite à l'atelier organisé à Boulder (Colorado) en novembre 2011, les scientifiques s'orientent vers la construction de **cinq scénarios-types** (voir figure 6) :

- Le **SSP1** (haute capacité d'adaptation, haute capacité d'atténuation), décrit un monde marqué par une forte coopération internationale, donnant la priorité au développement durable ;
- Le **SSP2** (capacité d'adaptation moyenne, capacité d'atténuation moyenne), décrit un monde caractérisé par la poursuite des tendances actuelles. "C'est évidemment le scénario le plus difficile à définir, indique Stéphane Hallegatte : des vues contradictoires s'expriment déjà à son sujet, certains participants envisageant même de proposer plusieurs SSP2 !"
- Le **SSP3** (faible capacité d'adaptation, faible capacité d'atténuation) dépeint un monde affecté par la compétition entre pays, une croissance économique lente, des politiques orientées vers la sécurité et la production industrielle, et peu soucieuses de l'environnement.
- Le **SSP4** (faible capacité d'adaptation, haute capacité d'atténuation) est celui d'un monde marqué par de grandes inégalités entre pays et en leur sein. Une petite élite mondiale y serait responsable de l'essentiel des émissions de GES, ce qui rend les politiques d'atténuation plus facile à mettre en place tandis que la plus grande partie de la population resterait pauvre et vulnérable au changement climatique.

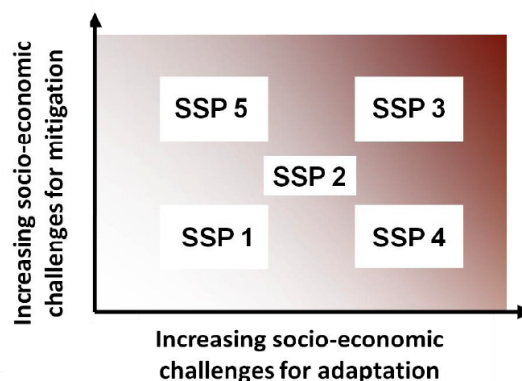


Fig. 6 : Les cinq SSP types, répartition selon la capacité d'adaptation et la capacité d'atténuation

- Et enfin le **SSP5** (forte capacité d'adaptation mais faible capacité d'atténuation) décrit un monde qui se concentre sur un développement traditionnel et rapide des pays en voie de développement, fondé sur une forte consommation d'énergie et des technologies émettrices de carbone ; la hausse du niveau de vie permet en revanche d'augmenter la capacité d'adaptation, notamment grâce au recul de l'extrême pauvreté.

Ces SSP, conçus sous la contrainte du calendrier de l'AR5, sont encore perfectibles. À plus longue échéance, la communauté scientifique s'oriente vers une approche plus systématique. Cette démarche s'articule en trois grandes phases. Il s'agit d'abord d'identifier les variables ("drivers") influant sur les capacités d'atténuation et d'adaptation, répartis en quatre familles : caractéristiques de la mondialisation, souci porté à l'environnement, dépendance au carbone, évolution des inégalités. En combinant des variables, on est capable de produire un grand nombre de scénarios. Enfin, ce "nuage" de scénarios permet ensuite la sélection d'un petit nombre de SSP, en fonction indicateurs pertinents de la capacité à s'adapter et à atténuer. Cette démarche ambitieuse pourrait permettre la production de la prochaine génération de SSP, et fait l'objet d'une proposition de projet international, actuellement en recherche de financement

ET LA SUITE ? QUELLES SONT LES GRANDES ÉCHÉANCES POUR L'ENSEMBLE DE CES TRAVAUX EN VUE DE L'AR5 ?

Pour ce qui est de la climatologie, les choses sont bien avancées. Le 31 juillet prochain est la date limite pour soumettre des publications scientifiques sur les scénarios climatiques analysés dans l'AR5 – celles-ci devront avoir été acceptées pour publication avant le 15 mars 2013. Les scénarios régionalisés du programme Cordex seront disponibles courant 2013. Pour la France, la base de données DRIAS sera opérationnelle mi-2012 et les scénarios basés sur les RCP 8.5 et 4.5 seront disponibles courant 2013. La publication du volet climatique de l'AR5 (groupe de travail 1) est prévue pour septembre 2013.

Quant aux cinq scénarios socio-économiques "de base", ils seront décrits de manière définitive d'ici l'été 2012 et feront l'objet d'une publication dans une revue scientifique avant la fin de l'année. Les publications consacrées à la vulnérabilité de l'environnement et des socio-systèmes au changement climatique, et aux options pour s'y adapter (groupe de travail 2) devront être soumises avant le 31 janvier 2013, tandis que la date limite pour les publications traitant des options d'atténuation (groupe de travail 3) est le 11 mars 2013.



Pour aller plus loin

Les résultats du CMIP5 accessibles en ligne : http://cmip-pcmdi.llnl.gov/cmip5/data_portal.html

Le projet CORDEX : http://wcrp.ipsl.jussieu.fr/SF_RCD_CORDEX.html

Le projet DRIAS, accès vers la description du projet soutenu par le programme GICC : <http://www.gip-ecofor.org/gicc/?q=node/311>

Bibliographie

Moss, R., et al., 2008: *Towards new scenarios for analysis of emissions, climate change, impacts and response strategies*. Intergovernmental Panel on Climate Change, Geneva, 132 pp.

Moss et al., 2010. *The next generation of scenarios for climate change research and assessment*. Nature, **463**, 747-756.

Hallegatte, S., V. Przulski, A. Vogt-Schilb, 2011. *Building world narratives for climate change impact, adaptation and vulnerability analyses*, Nature Climatic Change, June 2011

Arnell Nigel, Tom Kram, Timothy Carter, Kristie Ebi, Jae Edmonds, Stephane Hallegatte, Elmar Kriegler, Ritu Mathur, Brian O'Neill, Keywan Riahi, Harald Winkler, Detlef van Vuuren, Timm Zwickel, 2011. *A framework for a new generation of socioeconomic scenarios for climate change impact, adaptation, vulnerability and mitigation research*" (<http://www.isp.ucar.edu/socio-economic-pathways>)

Nakicenovic, N. et al. 2000. *IPCC Special Report on Emissions.Scenarios (SRES)* (Cambridge: 1184 Cambridge University Press).



<http://www.programme-gicc.fr/>

