

SYNTHESE

Direction générale de
l'énergie et du climat

Service climat et efficacité
énergétique

Observatoire national
sur les effets du
réchauffement
climatique

Septembre 2013

Découvrir les nouveaux scénarios RCP et SSP utilisés par le GIEC



Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie

www.developpement-durable.gouv.fr

Historique des versions du document

Version	Date	Commentaire
1	24/06/13	Version initiale de la DRI suite au colloque GICC du 23/11/2011
2	03/09/13	Version mise à jour pour les scénarios socio-économiques

Affaire suivie par

Sylvain Mondon - DGEC/SCEE/Onerc
<i>Tél. : 01 40 81 92 84</i>
<i>Courriel : sylvain.Mondon@developpement-durable.gouv.fr</i>

Rédacteurs

Sylvain Mondon - DGEC/SCEE/Onerc
Maurice Imbard – CGDD/DRI/SR

Relecteur

Nicolas Bériot - DGEC/SCEE/Onerc – Point focal français pour le Giec

Résumé

Dans la perspective de l'élaboration du 5^e rapport d'évaluation du GIEC, un groupe international d'experts a défini quatre scénarios de référence, qualifiés de profils représentatifs d'évolution des concentrations (RCP, pour *Representative Concentration Pathways*) de gaz à effet de serre (GES), d'ozone et de précurseurs des aérosols pour le XXI^e siècle et au-delà. Ces scénarios, peuvent correspondre à des efforts plus ou moins grands de réduction des émissions de GES au niveau mondial.

Pour chacun de ces quatre « profils représentatifs », les climatologues déduisent les conditions climatiques et les impacts du changement climatique associés. En parallèle, les sociologues et les économistes travaillent sur des scénarios présentant diverses caractéristiques de développements socio-économiques et diverses stratégies d'adaptation et d'atténuation. Cinq familles de scénarios, nommés SSP (pour *Shared Socioeconomic Pathways*), ont ainsi été définies.

Une telle approche permet un travail en parallèle et en cohérence des climatologues et des économistes.

SOMMAIRE

RÉSUMÉ.....	3
1 - INTRODUCTION.....	5
2 - LE GIEC ET LES SCÉNARIOS « SRES ».....	5
3 - NÉCESSITÉ DE DÉFINIR DES NOUVEAUX SCÉNARIOS.....	5
4 - APPROCHE INNOVANTE.....	6
5 - NOUVELLES REPRÉSENTATIONS CLIMATIQUES DE RÉFÉRENCE.....	6
6 - SIMULATIONS DES CLIMATOLOGUES.....	7
7 - REPRÉSENTATION DES ÉVOLUTIONS SOCIALES ET ÉCONOMIQUES.....	9
8 - COHÉRENCE ENTRE ÉVOLUTIONS CLIMATIQUES ET SOCIO-ÉCONOMIQUES.....	10
9 - POUR EN SAVOIR PLUS.....	11
10 - BIBLIOGRAPHIE.....	11

1 - Introduction

La publication du 5^e Rapport d'évaluation (AR5, *assessment report n°5*) du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC), composé de trois volumes et d'un rapport de synthèse, s'étend entre septembre 2013 et octobre 2014. Il s'agit d'un bilan mondial des connaissances scientifiques sur le changement climatique concernant :

- changements climatiques 2013 : les éléments scientifiques, Volume 1 (publication fin septembre 2013) ;
- les impacts, les vulnérabilités et l'adaptation, Volume 2 (publication fin mars 2014) ;
- l'atténuation du changement climatique, Volume 3 (publication mi-avril 2014) ;
- le rapport de synthèse de l'ensemble des Volumes (publication fin octobre 2014).

La démarche suivie dans la définition des trajectoires futures est différente de celle du 4^{ème} Rapport d'évaluation de 2007 (AR4). Elle est basée sur un ensemble déterminé de profils représentatifs d'évolution des concentrations en gaz à effet de serre (GES), d'ozone et de précurseurs des aérosols. Les équipes travaillant sur les modèles socio-économiques identifient les choix possibles en termes de développement pour atteindre une trajectoire imposée alors que les climatologues travaillent à décrire les conditions climatiques et les impacts liés à chaque trajectoire.

Le colloque organisé en novembre 2011 à Paris, par le programme Gestion et impacts du changement climatique (GICC) du Commissariat général au développement durable (CGDD) présentaient les principes de base sur lesquels sont construits les scénarios pour le 5^e rapport du GIEC. La présente note relate les principaux enseignements de cette manifestation suivie par plus de 200 personnes.

2 - Le GIEC et les scénarios « SRES »

Le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) a été créé en 1988 par l'Organisation météorologique mondiale (OMM) et le Programme des Nations unies pour l'environnement (PNUE) pour évaluer les fondements scientifiques du changement climatique. Le GIEC est aussi chargé d'estimer les risques et les conséquences du changement climatique, d'envisager des stratégies d'adaptation aux impacts et d'atténuation des émissions de gaz à effet de serre.

L'une des principales activités du GIEC consiste à procéder, à intervalles réguliers (1990, 1995, 2001, 2007, 2014) à une évaluation de l'état des connaissances.

Lors du 4^e rapport d'évaluation publié en 2007, la stratégie suivie était séquentielle. Le point de départ était une synthèse des travaux de modélisation économique qui conduisit à définir un ensemble de scénarios d'évolution possible de nos sociétés et modes de vie, prenant en compte des choix en matière d'énergie et de rapports à la mondialisation. Ces scénarios, appelés SRES (du nom du rapport spécial publié en 2000 pour les présenter, *Special Report on Emissions Scenarios*) proposaient plusieurs évolutions (A1, A2, B1, B2, A1B, etc.) se traduisant ensuite en termes d'émission de gaz à effet de serre. Ces évolutions d'émissions de GES étaient alors utilisées par les climatologues comme **données d'entrée** des modèles de projections climatiques. Enfin, les projections climatiques alimentent les modèles d'impact.

3 - Nécessité de définir des nouveaux scénarios

Les scénarios SRES définis par le GIEC à la fin des années 1990 ont été diffusés en 2000. Depuis, le contexte socio-économique mondial a sensiblement changé. Les déterminants socio-économiques

tels que l'économie, les technologies, les politiques publiques, et la connaissance du système climatique ont évolué.

Par exemple, il n'avait pas été envisagé à l'époque la possibilité d'un développement aussi rapide des pays émergents. 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 de gaz et les rétroactions en terme d'impacts et d'adaptation pour les systèmes considérés. Ces mécanismes n'étaient pas inclus dans les scénarios précédents.

Il est aujourd'hui aussi envisagé d'avoir des évolutions des émissions globales de gaz à effet de serre qui diminueraient après une phase de croissance au XXI^e siècle ce qui oblige certains scénarios à être prolongés au-delà de 2100.

Le GIEC a décidé de définir des nouveaux scénarios pour mieux prendre en compte ce nouveau contexte et permettre aux économistes et aux climatologues de ne plus travailler de manière séquentielle mais parallèle.

Enfin, contrairement aux scénarios SRES, ces nouveaux scénarios ne sont pas définis par le GIEC lui-même, mais ont été établis par la communauté scientifique pour répondre aux besoins du GIEC.

4 - Approche innovante

La démarche suivie pour la définition des scénarios pour le 5^e rapport procède donc d'une nature différente au précédent. Au-delà de la conception de nouveaux scénarios, c'est un véritable virage méthodologique qu'opère la communauté scientifique.

Auparavant, l'analyse était menée en suivant une logique séquentielle. La réflexion partait d'un faisceau de « futurs possibles » pour nos sociétés, intégrant une vaste palette de déterminants – les évolutions des économies nationales, l'offre technologique, les choix énergétiques, la démographie, les comportements individuels, etc.

Pour gagner en rapidité et en réactivité, la communauté scientifique applique désormais une méthode différente. Les scientifiques ont défini *ex ante* des **profils représentatifs d'évolution de concentration** de gaz à effet de serre, d'ozone et de précurseurs des aérosols représentatives d'un accroissement du bilan énergétique : les RCP (*Representative concentration pathways*).

À partir de ces profils de référence, les équipes travaillent simultanément et en parallèle : les climatologues produisent des projections climatiques utilisant les RCP comme entrée, tandis que les sociologues et les économistes élaborent des scénarios débouchant, en sortie, sur des émissions de gaz à effet de serre cohérents avec les RCP (fig. 1).

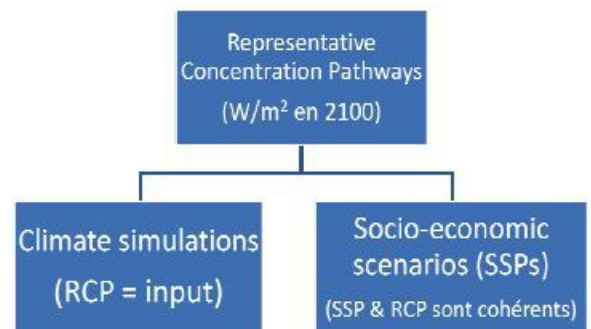


Figure 1 : Élaboration en parallèle des scénarios climatique (d'après Noorwijkerhout)

5 - Nouvelles représentations climatiques de référence

Au nombre de quatre (tab. 1), pour éviter un scénario médian « fourre-tout », les profils d'évolution d'émissions de gaz à effet de serre ont été sélectionnés par les scientifiques sur la base de plusieurs centaines de scénarios publiés. Ils ont été décrits par Moss et al. (Nature, 2010).

Les profils représentatifs d'évolution de concentration (RCP : representative concentration pathway) sont des scénarios de référence de l'évolution du forçage radiatif sur la période 2006-2300.

Nom	Forçage radiatif	Concentration de GES (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 : Caractéristiques principales des RCP (Moss et al, Nature 2010)

Le forçage radiatif, exprimé en W/m², est le changement du bilan radiatif (rayonnement descendant moins rayonnement montant) au sommet de la troposphère (10 à 16 km d'altitude), dû à un changement d'un des facteurs d'évolution du climat comme la concentration des gaz à effet de serre. La valeur pour 2011 est de 2,84 W/m²

Une comparaison avec les anciens scénarios SRES (fig. 2), pour leur période commune¹, montre que le RCP 8.5, scénario extrême, est un peu plus fort que l'ancien scénario SRES dénommé A2. Le RCP 6 est proche du scénario SRES A1B, tandis que le RCP 4.5 est proche du SRES B1. Le seul profil d'évolution sans équivalent avec les anciennes propositions du GIEC est le RCP2.6 qui intègre les effets de politiques de réduction des émissions susceptibles de limiter le réchauffement planétaire à 2°C.

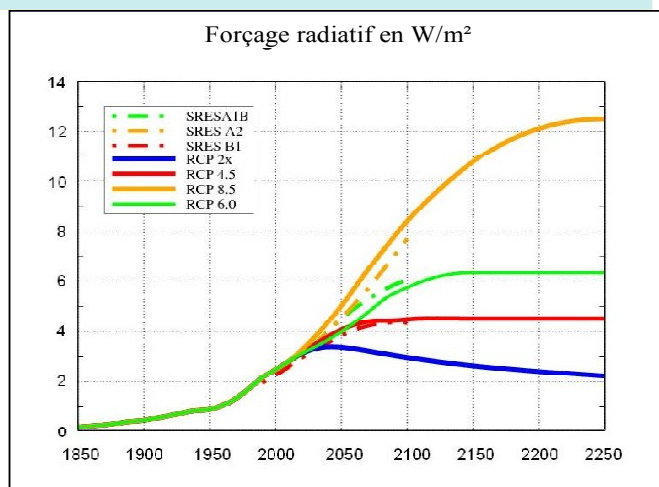


Figure 2 : les RCP comparés aux SRES (d'après S. Planton)

6 - Simulations des Climatologues

Les modèles utilisés par les scientifiques pour les simulations associées aux RCP, ont également été affinés. Ces modèles progressent continuellement en intégrant de manière toujours plus complète les mécanismes qui régissent le climat (connaissance et représentation des phénomènes) et en bénéficiant des progrès des techniques numériques (puissance de calcul, algorithmes, optimisation des calculs).

Par exemple, certaines simulations pour le futur Rapport d'évaluation (AR5) prennent mieux en compte les contributions de la banquise et de la végétation, ou l'impact de la chimie des aérosols. Néanmoins aucun de ces outils n'intègre actuellement les effets de l'augmentation des feux de forêts qui dégagent du CO₂ ou le dégel des pergélisols qui dégagent du méthane (CH₄), puissant gaz à effet de serre.

La résolution spatiale des modèles a, elle aussi, été significativement améliorée. Certains modèles présentent un nombre de niveaux verticaux plus important, mais la plupart progressent surtout en résolution horizontale. Cette évolution est essentielle pour la régionalisation des projections, les modèles globaux ont classiquement une résolution de 100 à 300 km ne permettant pas d'obtenir des projections détaillées pour anticiper localement des impacts.

¹ Les profils RCP sont décrits jusqu'en 2300, alors que les scénarios SRES des précédents travaux du GIEC s'arrêtaient en 2100.

Pour des simulations à un niveau régional, on recourt à une méthode de « descente d'échelle » (fig. 3) utilisant le développement de modèles régionaux, avec des résolutions de 10 à 50 km qui prennent en compte plus finement la topographie. Ces modèles sont eux-mêmes relayés par des

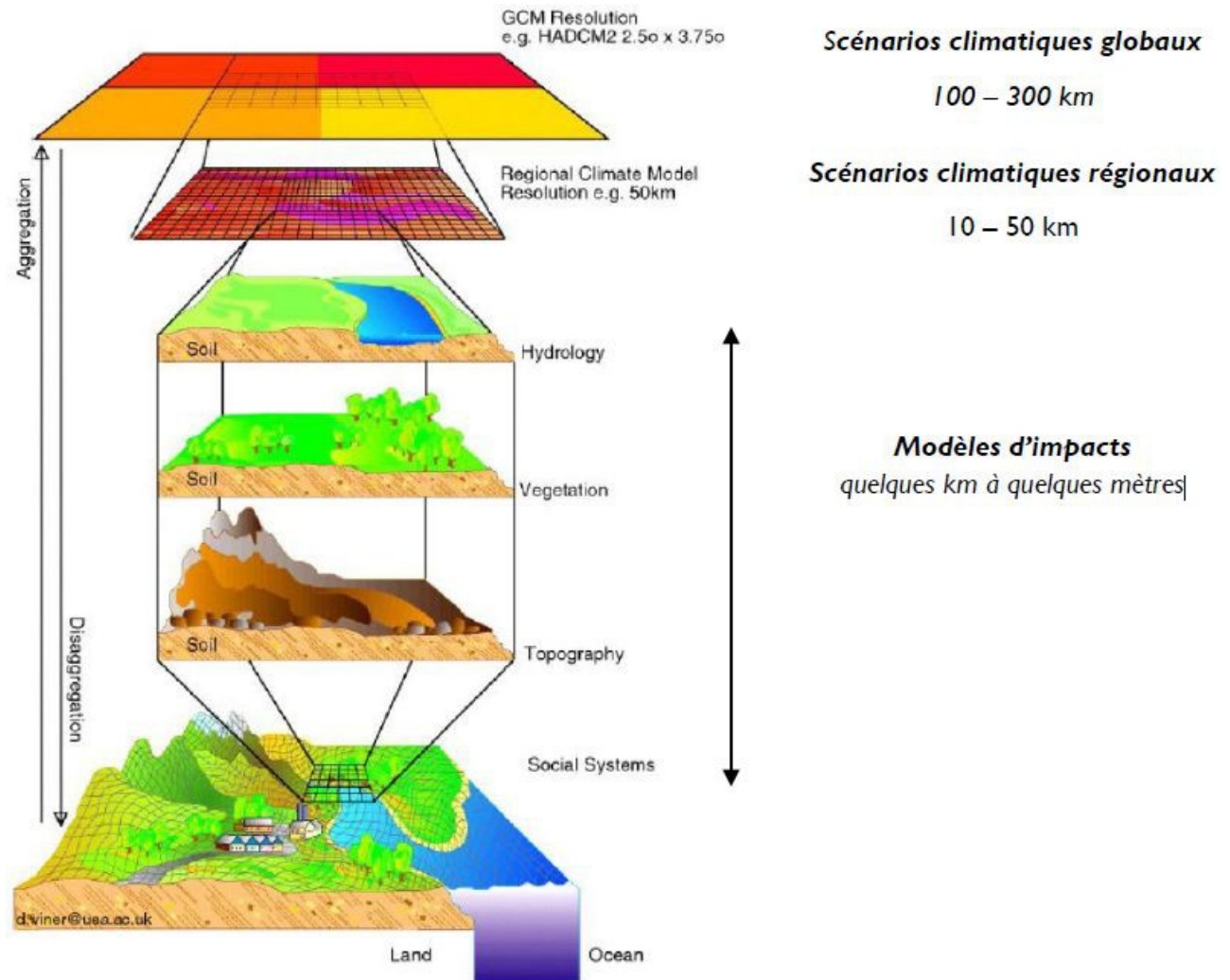


Figure 3 : Échelles des différents scénarios et modèles utilisés dans la descente d'échelle (d'après S. Planton).

modèles d'impact ou d'adaptation locaux, d'une résolution horizontale de l'ordre du kilomètre.

Un point également important pour ce futur rapport est l'augmentation du nombre total de résultats de modèles exploités dans les travaux d'analyse du GIEC. En effet, 23 modèles ont été exploités pour le 4^e rapport d'évaluation, le GIEC s'appuie sur une cinquantaine de modèles pour le 5^e (AR5).

Les résultats des simulations du climat passé et futur, globaux et régionaux, sont rendus accessibles dans une base de données distribuée au niveau international.

La contribution de la communauté scientifique française des climatologues aux projections analysées dans le 5^e rapport

Deux modèles sont développés et utilisés par la communauté scientifique française :

- CNRM-CM5 (Météo-France et CERFACS) ;
- IPSL-CM5 (Institut Pierre Simon Laplace).

Pour le rapport GIEC AR5, les simulations climatiques globales sont réalisées dans le cadre d'un projet CMIP5 coordonné au niveau international (*Coupled Model Intercomparison Project*, phase 5).

Un programme complémentaire, nommé *Cordex (Coordinated Regional Downscaling Experiment)*, définit le cadre général pour la régionalisation des simulations climatiques et l'inter-comparaison des résultats à petite échelle sur des domaines limités.

En France, une volonté similaire a conduit les climatologues à développer le portail internet « DRIAS, *les futurs du climat* ». Ce service réalisé avec l'appui du programme GICC et de la Direction générale de l'énergie et du climat (DGEC) est opérationnel depuis le 24 juillet 2012. DRIAS, *les futurs du climat* permet aux utilisateurs de visualiser des projections et scénarios climatiques régionalisés sur la France, et de commander² des données ciblées. Il sera au fur et à mesure complété et mis à jour par les projections régionales issues des nouvelles simulations alimentant les travaux du GIEC ainsi que des simulations d'impacts comme, par exemple, la sécheresse des sols.

7 - Représentation des évolutions sociales et économiques

En parallèle aux travaux des climatologues, les sociologues et les économistes s'emploient à évaluer les coûts d'adaptation et d'atténuation liés au changement climatique selon les évolutions possibles de nos sociétés, compatible avec les quatre scénarios de références (RCP) pour l'évolution des concentrations en gaz à effet de serre.

La méthode générale a été définie par un article de A. Nigél (2011). Le principe repose sur une architecture en matrice, qui définit pour les cinq familles de scénarios d'évolution socio-économique (nommées SSP1 à SSP5) les efforts à consentir à l'échelle mondiale pour parvenir aux profils de concentrations correspondantes à chacun des RCP.

Cette approche novatrice a la particularité d'isoler la décision prise du point de vue du climat de toutes les autres décisions : politiques, sociales et économiques.

Les scénarios SSP seront utilisés pour évaluer des politiques sur le changement climatique. Pour cela, il est important que ces scénarios socio-économiques soient décrits précisément et couvrent une large gamme de futurs possibles pour nos sociétés, en se répartissant selon deux axes :

- un axe représente le défi en matière d'adaptation des sociétés au changement climatique
 - un autre axe représente le défi en matière d'atténuation des émissions de gaz à effet de serre.
- Suite à un atelier organisé à Boulder (Colorado) en novembre 2011, les scientifiques ont défini cinq familles de scénarios-types (fig. 5) :

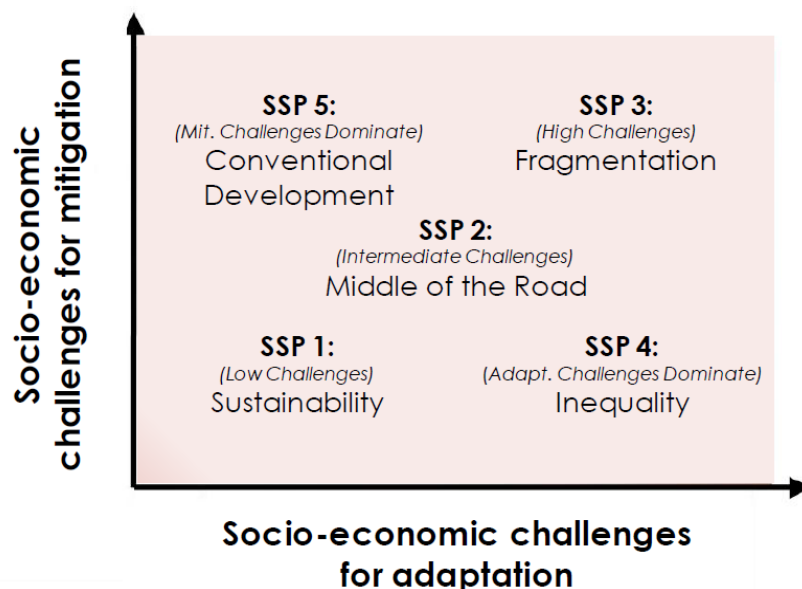


Figure 5 : Les cinq SSP types, répartition selon le défi socio-économique pour l'adaptation et pour l'atténuation (d'après A Nigél et al.)

- Le SSP1 (faible défi d'adaptation, faible défi d'atténuation), décrit un monde marqué par une forte coopération internationale, donnant la priorité au **développement durable** ;

² L'accès aux données est entièrement libre et gratuit, sous réserve d'identification pour les commandes spécifiques.

- Le SSP2 (défi d'adaptation moyen, défi d'atténuation moyen), décrit un monde caractérisé par la poursuite des **tendances actuelles** ;
- Le SSP3 (défi d'adaptation élevé, défi d'atténuation élevé) dépeint un monde **fragmenté** 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 (défi d'adaptation élevé, faible défi d'atténuation) est celui d'un monde marqué par de **grandes inégalités** entre pays et en leur sein. Une minorité y serait responsable de l'essentiel des émissions de GES, ce qui rend les politiques d'atténuation plus faciles à mettre en place tandis que la plus grande partie de la population resterait pauvre et vulnérable au changement climatique.
- Le SSP5 (faible défi d'adaptation, défi d'atténuation élevé) 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 permettrait d'augmenter la capacité d'adaptation, notamment grâce au recul de l'extrême pauvreté.

8 - Cohérence entre évolutions climatiques et socio-économiques

En fonction des différents paramètres descriptifs des scénarios socio-économiques (démographie, urbanisation, croissance, ...) certaines familles de scénarios SSP sont compatibles avec une partie des profils d'émission (RCP). Par exemple (fig. 6), les familles SSP3 et SSP5 ne sont pas compatibles avec les profils d'émissions des RCP 2.6. Autrement dit, le monde décrit selon les paramètres définissant les familles SSP3 et SSP5 ne permet pas de limiter les émissions de gaz à effet de serre à un bas niveau.

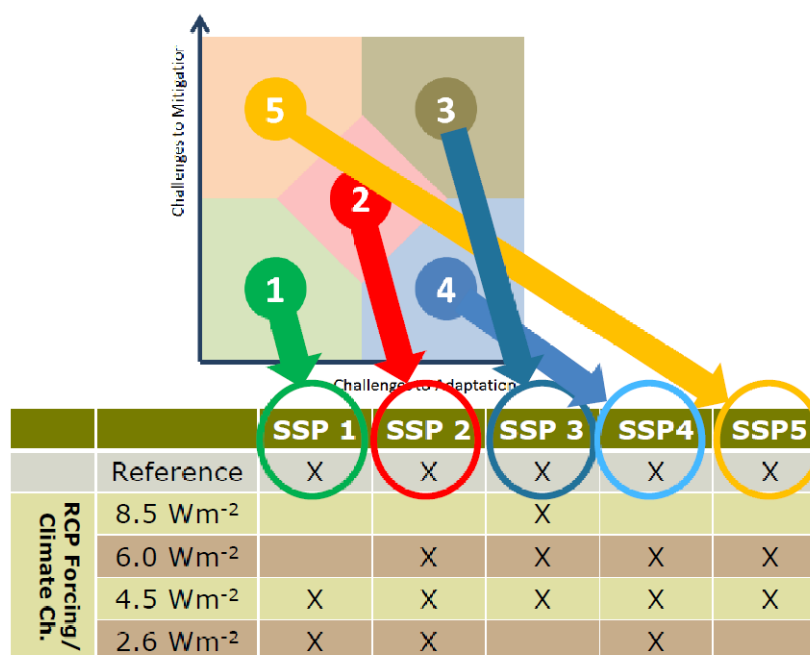


Figure 6 : Relations entre RCP et SSP, d'après T. Kram

La figure 6 montre en outre que le profil d'émission RCP4.5 peut être respecté pour l'ensemble des cinq familles SSP en fonction des valeurs plus ou moins modérées des paramètres descriptifs. Elle montre aussi que le monde décrit par la famille SSP1 est préservé des profils d'émission les plus élevés.

9 - Pour en savoir plus

Le site du GIEC – IPCC : <http://www.ipcc.ch/>

Le programme GICC : www.gip-ecofor.org/gicc/

Restitution du séminaire GICC du 23 novembre 2011 : www.gip-ecofor.org/gicc/?q=node/362

Les résultats de CMIP5 accessibles : cmip-pcmdi.llnl.gov/cmip5/data_portal.html

Le site CORDEX : <http://wcrp-cordex.ipsl.jussieu.fr/>

Drias les futurs du climat, projections régionalisées sur la France : www.drias-climat.fr

Le point focal français pour le GIEC : www.developpement-durable.gouv.fr/giec

10 - Bibliographie

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

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>)



**Ministère de l'Écologie
du développement durable et de l'Énergie**

Secrétariat général
Tour Pascal A
92055 La Défense cedex
Tél. : 01 40 81 21 22

